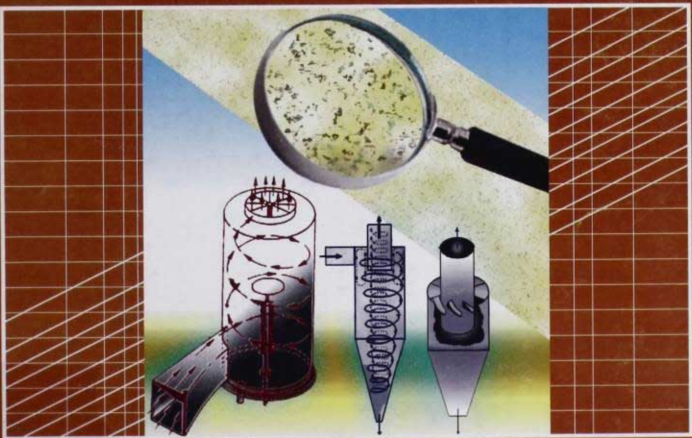
20

Yolanda Falcón Briseño
Carmen Alejandra Sánchez Soto
Oscar Alfredo Fentanes Arriaga

Problemario de control de partículas



Energía

Problemario de control de partículas

Problemario de control de partículas

Este material fue dictaminado y aprobado para su publicación en su 1a. edición por el Consejo Editorial de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Unidad Azcapotzalco de la UAM, en su sesión del día 15 de julio de 1997.

Problemario de control de partículas

Yolanda Falcón Briseño
Carmen Alejandra Sánchez Soto
Oscar Alfredo Fentanes Arriaga

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Energía

ISBN: 970-31-0643-9

Corrección:
Rosendo García Leyva
Ilustración de portada:
Consuelo Quiroz Reyes
Diseño de Portada:
Modesto Serrano Ramírez

Sección de producción
y distribución editoriales
Tel. 5318-9222 / 9223
Fax 5318-9222

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180
Col. Reynosa Tamaulipas
Delegación Azcapotzalco
C.P. 02200
México, D.F.

Problemario de control de partículas
1a. edición, 1998
2a. edición, 2006
Impreso en México

CRÉDITOS

Titulo: <u>Problemario de Control de Partículas</u>

Investigación y textos:	*Oscar Alfredo Fentanes Arriaga*
	Carmen Alejandra Sánchez Soto
Traducción y Revisión Técnica:	*Yolanda Falcón Briseño*
Diseño Gráfico y Portada:	*Oscar Alfredo Fentanes Arriaga*
	Carmen Alejandra Sánchez Soto
Dirección y Coordinación Técnica:	*Yolanda Falcón Briseño*

1ª edición, 1997

PRESENTACIÓN

Este problemario se elaboró con el objetivo de apoyar el curso de Control de Partículas que se imparte en la Licenciatura de Ingeniería Ambiental como u. e. a. obligatoria en el Plan de Estudios de la Carrera.

El material que comprende este manual fué seleccionado de diversas fuentes como son: el Manual del Profesor del curso 413 "Control de Emisiones de Partículas" de la Agencia de Protección Ambiental de los EUA (Environmental Protection Agency, EPA) editado por el Instituto de Entrenamiento sobre Contaminación del Aire (Air Pollution Training Institute, APTI) y del cual se tiene la correspondiente versión en español del Manual del Estudiante traducido por personal docente de la UAM - Azcapotzalco.

Otras fuentes importantes son los libros que se enlistan al final de este problemario como bibliografía.

Los problemas in extenso no pretenden ser una recopilación exhaustiva, sino solamente abordar los temas más importantes relacionados con el control de partículas, dejando la inquietud en el alumno de profundizar más en temas tan interesantes como: Cámaras de Sedimentación, Ciclones, Casas de Bolsas, Colectores Húmedos y Precipitadores Electrostáticos, que constituyen la base del Curso de Control de Partículas.

M. en C. Yolanda Falcón Briseño
Profa. del Área de Procesos y Medio Ambiente
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
México, D. F., marzo de 1997

ÍNDICE

Cámaras de sedimentación

1. CÁMARAS DE SEDIMENTACIÓN

Problema 1

Calcular la velocidad de asentamiento para una partícula que se mueve en una corriente gaseosa. Asumiendo que:

Datos:
ρ_p = 0.899 g/cm^3
ρ_a = 0.012 g/cm^3
μ_a = 1.82x10^{-4} g/cm·s
g = 980 cm/s^2
d_p = 45 μm = 4.5x10^{-3} cm
Cf = 1.0

Solución:
Primero se calcula k para determinar en que régimen de flujo se está trabajando, posteriormente se obtiene la velocidad de asentamiento con la ecuación respectiva.

$$k_c = d_p\left[\frac{g \cdot \rho_p \cdot \rho_a}{\mu_a^{\,2}}\right]^{0.33}$$

sustituyendo queda:

$$k_c = (4.5\times10^{-3}\,cm)\left[\frac{(980cm/s^2)(0.899g/cm^3)(0.012g/cm^3)}{(1.82\times10^{-4}\,g/cm\cdot s)^2}\right]^{0.33}$$

$$k_c = (4.5\times10^{-3}\,cm)\left(319171597.6\ {}^{1}\!/_{cm^3}\right)^{0.33}$$

$$k_c = (4.5\times10^{-3}\,cm)\left(640.22\ {}^{1}\!/_{cm}\right) = 2.88$$

k = 2.88 < 3.3 Por lo tanto el régimen es laminar

Entonces, la velocidad se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_{tp} = \frac{C_f \cdot \rho_p \cdot d_p^{\ 2} \cdot g}{18\mu_a}$$

$$V_{tp} = \frac{(1)(4.5 \times 10^{-3}\, cm)^2 (0.899\, g/cm^3)(980\, cm/s^2)}{(18)(1.82 \times 10^{-4}\, g/cm \cdot s)}$$

V_{tp} = 5.44 cm/s

Problema 2

Suponiendo que se tienen diferentes partículas con densidad de 1 g/cm^3 y diámetros de 10,100 y 1000 μm. Estime gráficamente la velocidad de asentamiento de dichas partículas dentro de un flujo de aire a condiciones estándar, en cm/s. Además, obtenga la velocidad para tales partículas, pero con una densidad de 2 g/cm^3.

Datos:

ρ_{p1} = 1 g/cm^3

ρ_{p2} = 2 g/cm^3

d_{p1} = 10 μm

d_{p2} = 100 μm

d_{p3} = 1000 μm

Solución:

Este problema puede ser resuelto de la misma forma que el anterior, pero también puede hacerse una aproximación gráfica, para esto se usa la gráfica 1.1 del apéndice A.

En la gráfica se leé:

ρ_p =1 g/cm^3 ρ_p =2 g/cm^3

d_p (μm)	K	Vtp_1 (cm/s)	K	Vtp_2 (cm/s)
10	0.66	0.3	0.83	0.60
100	6.63	15.6	8.33	25.55
1000	66.3	157.24	83.33	222.37

Problema 3

Se tienen vapores de ácido clorhídrico (HCl) en aire a 25ºC, con un flujo de 50 $pies^3/s$ y se van a colectar en una cámara de sedimentación. La unidad tiene 30 pies de ancho, 20 pies de altura y 50 pies de largo. Una gravedad específica de partícula de 1.6 y una viscosidad de 0.0185 cp. Calcular el diámetro mínimo de partícula que puede ser colectado con 100% de eficiencia.

Datos:
$Q = 50\ pies^3/s$
$T = 25\ ^\circ C$
$B = 30$ pies
$H = 20$ pies
$L = 50$ pies
$S_p = 1.6$
$\mu = 0.0185$ cp
$g = 32.2\ pies/s^2$

Solución:
De acuerdo con la ecuación de Theodore y Buonicore se calcula el diámetro de partícula, sustituyendo en la ecuación los datos en las mismas unidades. Entonces :

$$S_p = \frac{\rho_p}{\rho_{agua}} \Rightarrow \rho_p = S_p \cdot \rho_{agua}$$ entonces $\rho_p = 1.6 \times 62.4\ lb/pie^3$

$= 99.84\ lb/pie^3$

$\mu = 0.0185\ cp\ (6.72 \times 10^{-4}\ lb/pie\cdot s/1\ cp) = 1.2432 \times 10^{-5}\ lb/pie\cdot s$

$$d_p = \left[\frac{18\mu Q}{g\rho_p BL}\right]^{1/2}$$

$$d_p = \left[\frac{18(1.2432x10^{-5}lb/pie\cdot s)(50pies^3/s)}{(32.2pies/s^2)(99.84lb/pie^3)(30pies)(50pies)}\right]^{1/2}$$

$$\mathbf{d_p = 4.816 \times 10^{-5}\ pies \approx 14.4\ \mu m}$$

Problema 4

Se tiene una cámara de sedimentación de 30 pies de longitud, con una altura de 6 pies y un ancho de 12 pies, el flujo es de 4320 pies^3/min. La partícula tiene una gravedad específica de 2.5, considere solamente una charola paralela. Calcule el diámetro del tipo de partícula que se puede colectar con un 100% de eficiencia.

Datos:
$L = 30$ pies
$H = 6$ pies
$B = 12$ pies
$Q = 4320$ pies^3/min
$S_p = 2.5$
$\eta = 100$ %
$N_c = 1$
$\mu = 1.2432 \times 10^{-5}$ lb/pie·s
$g = 32.2$ pies/s^2
$\rho_{H_2O} = 62.4$ lb/pie^3

Solución:
Se calcula el diámetro mínimo de partícula que puede ser colectado con un 100% de eficiencia, mediante la siguiente ecuación.

$$d_p = \left[\frac{18\mu Q}{g\rho_p BL}\right]^{1/2}$$

$$d_p = \left[\frac{18(1.2432\times10^{-5}\,lb/pie\cdot s)(4320\,pies^3/\min)(\frac{1\min}{60s})}{(32.2\,pies/s^2)(2.5\times62.4\,lb/pie^3)(30\,pies)(12\,pies)}\right]^{1/2}$$

$d_p = 9.44 \times 10^{-5}$ pies $((3.048 \cdot 10^5\ \mu m)/1$ pie$) = 28.77\ \mu m$

Problema 5

Calcule la eficiencia real o actual de colección de una cámara de sedimentación simple, con los siguientes datos:

Datos:
$B = 5\ m$
$L = 10\ m$
$d_p = 10\ \mu m$
$Q = 0.4\ m^3/s$
$\rho_p = 1.10\ g/cm^3$
$\mu = 1.8\times10^{-5}\ kg/m\cdot s$
$N_c = 1$
$g = 9.81\ m/s^2$

Solución:
Para obtener la eficiencia de colección para un tamaño de partícula específica se emplea la ecuación:

$$\eta = 0.5\left[\frac{g\cdot\rho_p\cdot BL\cdot N_c}{18\mu\cdot Q}\right]{d_p}^2$$

y sustituyendo queda:

$$\eta = 0.5\left[\frac{9.81m/s^2(1.1\times10^3 kg/m^3)(5m)(10m)(1)}{18(1.8\times10^{-5}kg/m\cdot s)(0.4m^3/s)}\right](10\times10^{-6}m)^2$$

la eficiencia de la cámara de sedimentación es:

η = 20.81 %

Problema 6

Determine la longitud de una cámara colectora, que se requiere para obtener 90% de eficiencia cuando se colectan partículas con diámetro de 50 μm y con una densidad de 2 g/cm^3. La velocidad del gas es de 0.5 m/s y la cámara de sedimentación tiene 3 m de altura. Considere que el gas está a condiciones normales de presión y temperatura. Asuma flujo turbulento.

Datos:
$\eta = 90$ %
$d_p = 50$ μm
$\rho_p = 2.0$ g/cm^3
$V = 0.5$ m/s
$H = 3$m
$V_t = 16$ cm/s

Solución:
Para obtener la velocidad terminal de sedimentación mediante el diámetro de partícula y su densidad, consultar la gráfica 1.1 del apéndice A. Entonces V_t es igual a 16 cm/s = 0.16 m/s.
Asumiendo flujo turbulento, la ecuación que aplica sería:

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{L \cdot V_y}{H \cdot V_x}\right)}$$

Sustituyendo valores queda:

$$0.90 = 1 - e^{-\left(\frac{(L)(0.16m/s)}{(3m)(0.5m/s)}\right)}$$

entonces,

$$\ln 0.1 = -\left(\frac{(0.16m/s)(L)}{(3m)(0.5m/s)}\right)$$

$$\ln 0.1 = -0.10666L$$

al despejar L

L = 21.58 m

Problema 7

Calcular la eficiencia de colección de una cámara de sedimentación simple que tiene las siguientes características:

Datos:
B = 10.8 pies
L = 2.46 pies
H = 15 pies
d_p = 72 μm = 72x10^{-6} m x (1 pie/0.3048 m)=2.3622 x10^{-4} pie
T = 230°C
S = 2.65
Q = 70.6 pie^3/s
N_c = 1
μ_a = 1.666x10^{-5} lb/pie·s
g = 32.2 pies/s^2
ρ_p = 165.36 lb/pie^3

Solución:
Con la temperatura obtenemos la viscosidad; el diámetro de partícula se pasa al Sistema Inglés, y calculamos la eficiencia teórica de colección usando la ecuación:

$$\eta = 0.5\left[\frac{g \cdot \rho_p \cdot B \cdot L \cdot N_c}{18\mu \cdot Q}\right] d_p^{\,2}$$

sustituyendo los valores:

$$\eta = 0.5\left[\frac{32.2\text{pies}/\text{s}^2\left(165.36\text{lb}/\text{pie}^3\right)(10.8\text{pies})(2.46\text{pies})(1)}{18(1.666\times10^{-5}\text{lb}/\text{pie}\cdot\text{s})(70.6\text{pies}^3/\text{s})}\right](2.362\times10^{-4}\text{pies})^2$$

η = 18.95 %

Problema 8

Calcule el tamaño mínimo de partícula que podrá ser removida con una eficiencia igual a 100%, en una cámara de sedimentación que se encuentra a las siguientes condiciones:

- La velocidad del aire es 0.3 m/s a una temperatura de 77°C
- La gravedad específica de la partícula es de 2.0
- La longitud de la cámara es cinco veces más grande que su altura (1.5 m).

Datos:
$V_x = 0.3$ m/s
T = 77°C
$S_p = 2.0 \longrightarrow \rho_p = (2.0)(1000\ kg/m^3) = 2000\ kg/m^3$
L = 5 H
H = 1.5 m L = 7.5 m
$\mu = 2.1 \times 10^{-5}\ kg/m \cdot s \longrightarrow 77\ °C$ (Gráfica 2.6)
$g = 9.81\ m/s^2$

Solución:
De la gráfica 2.6 del apéndice A, se obtiene que la viscosidad del aire a 77°C es 2.1 x 10^{-5} kg/m·s y usando la ecuación de Theodore y Buonicore para calcular el diámetro mínimo de partícula:

$$d_p = \left[\frac{18\mu Q}{g\,\rho_p B\,L}\right]^{1/2}$$

como no tenemos el dato del flujo, usamos la siguiente ecuación, que es una variante de la fórmula anterior:

$$d_p = \left[\frac{18\mu\, H\, V}{g\rho_p}\right]^{1/2}$$

$$d_p = \left[\frac{18(2.1\times10^{-5} kg/m\cdot s)(0.3m/s)(1.5\,m)}{(9.81m/s^2)(2000kg/m^3)(7.5\,m)}\right]^{1/2}$$

$$\mathbf{d_p = 3.4 \times 10^{-5}\ m = 34\ \mu m}$$

Problema 9

Una muestra de partículas en suspensión con una densidad de 1.6 g/cm^3 entra con una velocidad de 0.2 pies/s a una cámara de sedimentación de 20 pies de largo y 10 pies de alto. La corriente de gas es aire a condiciones estándar. Determínese el diámetro mínimo de la partícula, en micrómetros, que se sedimentará completamente en condiciones de flujo laminar.

Datos:
ρ_p = 1.6 g/cm^3
V_t = 0.2 pies/s
H = 10 pies
L = 20 pies
g = 32.2 pies/s^2

Solución:
De la gráfica 2.6 del apéndice A, para el aire a presión y temperatura estándar la viscosidad es igual a 1.84 x 10^{-5} Kg/m·s. Se aplica la siguiente ecuación para calcular el diámetro mínimo de partícula que será colectada completamente.

$$\mu = 1.84\text{x}10^{-5}\ \frac{Kg}{m\cdot s}\times\frac{2.2051\text{lb}}{1\text{Kg}}\times\frac{0.3048\text{m}}{1\,\text{pie}} = 1.24\ \text{x}\ 10^{-5}\ \frac{lb}{pie\cdot s}$$

$$\rho_p = 1.6\ \frac{g}{cm^3} = 1600\ \frac{Kg}{m^3}\,x\,\frac{2.2051lb}{1Kg}\,x\,\frac{(0.3048m)^3}{1pie} = 99.99\ \frac{lb}{pie^3}$$

$$d_p = \left(\frac{18\mu V_x H}{g\rho_p\ L}\right)^{1/2} = \left(\frac{(18)\cdot(1.24\text{x}10^{-5}\frac{\text{lb}}{\text{pie}\cdot\text{s}})(0.2\frac{\text{pie}}{\text{s}})(10\text{pies})}{(32.2\frac{\text{pies}}{\text{s}^2})(99.99\frac{\text{lb}}{\text{pie}^3})(20\text{pies})}\right)^{1/2}$$

d_p = 8.33 x 10^{-5} pies = 25.36 μm

Problema 10

Se va a usar una cámara de sedimentación para colectar partículas de 50 μm de diámetro y una densidad de 1,400 Kg/m^3, con un gasto volumétrico de 2.5 m^3/s. Las dimensiones totales de la cámara son 2m de alto, 4m de ancho, y tendrá 4 charolas incluyendo la superficie del fondo.

a) ¿Cuál será el número de Reynolds para el flujo de gas?
b) ¿Cuál será la longitud requerida de la cámara para una eficiencia de colección del 100 por ciento para partículas de 60μm de diámetro?
c) ¿Cuáles serán las eficiencias colectoras fraccionarias para tamaños de partículas de 50, 40, 30, 20, y 10 μm, para la longitud de la cámara obtenida del inciso anterior.

Datos:
d_p = 50 μm
ρ_p = 1400 Kg/m^3
Q = 2.5 m^3/s
H= 2 m
B = 4 m
L= 8 m
N_c = 4
μ_a=1.84x10^{-5} Kg/m·s
ρ_a=1.185 kg/m^3
g= 9.81 m/s^2

Solución:

a) De la gráfica 2.6 del apéndice A para el aire a temperatura y presión estándar la viscosidad del aire es igual a 1.84x10^{-5} Kg/m·s y su densidad es de 1.185 Kg/m^3, para calcular el número de Reynolds se aplica:

$$R_e = \frac{\rho_a \cdot V_p \cdot d_p}{\mu_a}$$

La velocidad se calcula con:

$$Q = V \cdot A \Rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{2.5\,m^3/s}{8\,m^2} = 0.313\,m/s$$

Entonces el número de Reynolds es igual a:

$$R_e = \frac{\left(1.185\,Kg/m^3\right)\left(0.31\,m/s\right)\left(5x10^{-5}\,m\right)}{\left(1.84x10^{-5}\,Kg/m\cdot s\right)} = 0.998 \;\therefore$$ el régimen de flujo es laminar

b) Para calcular la longitud de la cámara se utiliza la ecuación de Theodore y Buonicore, despejando L.

$$\eta = 0.5\left[\frac{g \cdot \rho_p \cdot BL \cdot N_c}{18\mu_a \cdot Q}\right]{d_p}^2$$

$$L = \frac{18 \cdot \mu_a \cdot Q \cdot \eta}{d_p^2 \cdot B \cdot N_c \cdot \rho_p \cdot g \cdot 0.5}$$

$$L = \frac{18\left(1.84x10^{-5}\,{}^{Kg}\!/_{m \cdot s}\right)\left(2.5\,{}^{m^3}\!/_{s}\right)(1)}{\left(6x10^{-5}\,m\right)^2(4m)(4)\left(1400\,{}^{Kg}\!/_{m^3}\right)\left(9.81\,{}^{m}\!/_{s^2}\right)(0.5)} = 2.09\,m$$

c) Para calcular la eficiencia de colección de un tamaño específico de partículas se emplea la siguiente ecuación:

$$\eta = 0.5\left[\frac{g \cdot \rho_p \cdot B \cdot L \cdot N_c}{18 \cdot \mu_a \cdot Q}\right]d_p^2$$

y sustituyendo queda:

$$\eta = 0.5\left[\frac{9.81\,{}^{m}\!/_{s^2}\left(1400\,{}^{Kg}\!/_{m^3}\right)(2.09m)(4m)(4)}{18\left(1.84x10^{-5}\,{}^{Kg}\!/_{m \cdot s}\right)\left(2.5\,{}^{m^3}\!/_{s}\right)}\right]d_p^2$$

Calculando el valor constante y sustituyendo para cada diámetro de partícula específica se obtienen las siguientes eficiencias.

η(50μm) = 69.00 %
η(40μm) = 44.00 %
η(30μm) = 25.00 %
η(20μm) = 11.00 %
η(10μm) = 2.00 %

Problema 11

Se tieneuna partícula esférica de cal de 400 μm de diámetro con una gravedad específica de 2.67. Calcular el coeficiente de arrastre C_D y la velocidad de asentamiento V_t, en aire a 70ºC.

Datos:
d_p = 400 μm
ρ_{aire} = 0.075 lb/pie^3
ρ_{H_2O} =62.4 lb/pie^3
S_p = 2.67
μ_a = 1.23x10^{-5} lb/pie·s
g = 32.2 pies/s^2
1 pie = 3.05x10^5 μm

$$\rho_p = \rho_{H_2O}\delta$$

$$\rho_p = 62.4(2.67) = 166.608\frac{lb}{ft^3}$$

$$K = d_p\left(\frac{\rho_p g \rho_a}{\mu_a^{\,2}}\right)^{1/3}$$

$$K = \frac{400\mu m}{3.05\times10^5\mu m}ft\left[\frac{32.1\frac{ft}{seg^2}\left(2.67(62.4)\frac{lb}{ft^3}\right)\left(0.075\frac{lb}{ft^3}\right)}{\left(1.23\times10^{-5}\frac{lb}{ft*seg}\right)^2}\right]^{0.33}$$

$K = 16.5$ Flujo Transición

$$Vt = \frac{0.153g^{0.71}d_p^{\;1.14}\rho_p^{\;0.71}}{\mu^{0.43}\rho_a^{\;0.29}}$$

$$V_t = \frac{0.153(32.1)^{0.71}(1.311\times10^{-3})^{1.14}(166.608)^{0.71}}{(1.23\times10^{-5})^{0.43}(0.075)^{0.29}}$$

$$V_t = 9.62\frac{ft}{s}$$

$$R_{ep} = \frac{\rho_a V_t d_p}{\mu} \qquad R_{ep} = \frac{0.075(9.62)(1.311\times10^{-3})}{1.23\times10^{-5}}$$

$$R_{ep} = 76.92$$

$$C_D = \frac{18.75}{R_{ep}^{\ 0.6}} \qquad C_D = \frac{18.75}{76.92^{0.6}}$$

$$C_D = 1.37$$

$C_D = 1.37$

Problema 12

Se tienen partículas de 20 μm de diámetro a 70 °F con una gravedad específica de 1.8 fluyendo en un ducto. La densidad del agua es de 62.4lb/pie^3; la densidad del aire es de 0.075 lb/pie^3 y la viscosidad del aire es de $1.23\text{X}10^{-5}$ lb/ pie·s.

a) Calcular la velocidad de asentamiento V_t

b) Calcular la fuerza de arrastre F_D

$$\mu_a = 1.23\times 10^{-5}\,\frac{\text{lb}}{\text{pie}\cdot\text{s}} \qquad \delta = 1.8$$

$$\rho_a = 0.075\,\frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \qquad d_p = \frac{20\mu\text{m}}{3.05\times 10^5\,\mu\text{m}/\text{pie}}$$

$$d_p = 20\mu\text{m} \qquad d_p = 6.557\times 10^{-5}\,\text{pie}$$

$$T = 70°\text{F}$$

$$\rho_p = \rho_{H_2O}\cdot\delta$$

$$\rho_p = \left(62.4\,\frac{\text{lb}}{\text{pies}^3}\right)(1.8)$$

$$\rho_p = 112.32\,\frac{\text{lb}}{\text{pies}^3}$$

$$K = d_p\left(\frac{g\rho_p\rho_a}{\mu_a}\right)^{0.33}$$

$$K = 6.557\times 10^{-5}\,\text{pies}\left(\frac{\left(32.1\,\frac{\text{pies}}{\text{s}^2}\right)\left(112.32\,\frac{\text{lb}}{\text{pies}^2}\right)\left(0.075\,\frac{\text{lb}}{\text{pies}^3}\right)}{\left(1.23\times 10^{-5}\,\frac{\text{lb}}{\text{pie}\cdot\text{s}}\right)^2}\right)^{0.33}$$

K = 0.724 Flujo laminar

$$V_t = \frac{d_p^{\,2}\cdot\rho_p\cdot g}{18\mu_a}\cdot C_f$$

$$V_t = \frac{\left(6.557\times 10^{-5}\,\text{pies}\right)^2\left(112.32\,\frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}\right)\left(32.1\,\frac{\text{lb}}{\text{s}^2}\right)}{18\left(1.23\times 10^{-5}\,\frac{\text{lb}}{\text{pie}\cdot\text{seg}}\right)} \qquad V_t = 0.07\,\frac{\text{pie}}{\text{seg}}$$

$$F_D = 3\pi d_p V_t \mu_a$$

$$F_D = 3\pi\left(6.557\times 10^{-5}\,\text{pie}\right)\left(0.07\,\frac{\text{pie}}{\text{seg}}\right)\left(1.23\times 10^{-5}\,\frac{\text{lb}}{\text{pie}\cdot\text{seg}}\right)$$

$$F_D = 5.32\times 10^{-10}\,\frac{\text{lb}\cdot\text{pie}}{\text{seg}^2}$$

Ciclones

2. CICLONES

Problema 1

Un ciclón está diseñado con un ancho de entrada de 12 cm y 4 vueltas efectivas. La velocidad de entrada del gas es de 15 m/s. La densidad de la partícula es de 1.7 g/cm^3.
Calcular el tamaño de partícula que se colecta con una eficiencia del 50%, la temperatura de operación es de 350 ºK.

Datos:
B_C = 12 cm
n_t = 4
V_i = 15 m/s
ρ_p = 1.7 g/cm^3 = 1.7(1kg/1000 g) (100cm/1m)^3 = 1700 kg/m^3

Solución:
Para un 50% de eficiencia el diámetro de corte se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{9 \cdot \mu_g \cdot B_C}{2 \cdot \pi \cdot n_t \cdot V_i \rho_p}\right]^{1/2}$$

Como no tenemos la viscosidad, ésta se obtiene de la gráfica 2.6 (ver apéndice A), a 350 K, μ= 2.1x10^{-5} kg/m·s. También se asume que la densidad del aire es cero. Entonces, sustituyendo con los factores de conversión adecuados:

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{(9)(2.1x10^{-5}\,kg/m \cdot s)(0.12m)}{(2)(3.1416)(4)(15\,m/s)(1700\,kg/m^3)}\right]^{1/2}$$

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{2.268\,x\,10^{-5}}{640{,}884.9}\right]^{1/2} = 5.95x10^{-6}\,m$$

$$\mathbf{[d_p]_{corte} = 5.95\ \mu m}$$

Problema 2

Un ciclón convencional o de Lapple con un diámetro de 1.6 m, procesa 4.5 m^3/s de aire a una temperatura de 50ºC. Determinar el diámetro de corte, si la gravedad específica de las partículas es de 1.2.

Datos :
D_c = 1.6 m
n_t = 5
T = 50° C
S_p = 1.2
Q = 4.5 m^3/s

Solución:
La densidad de la partícula a 50° C es:

$$S_p = (\rho_p) / (\rho_{agua}) \Rightarrow \rho_p = S_p \cdot \rho_{agua} = (1.2)\,(988\ kg/m^3) = 1185.6\ kg/m^3$$

Como se tiene un ciclón convencional o de Lapple, el ancho de entrada (B_c) es un cuarto del diámetro del ciclón y la altura de entrada (H_c) es un medio, es decir:

$$B_c = 1/4\ D_c = 1.6\ m/4 = 0.4\ m$$
$$H_c = 1/2\ D_c = 1.6\ m/2 = 0.8\ m$$

la velocidad es: V = Q/A , donde A = $B_c \times H_c$ = 0.32 m^2

$$V = (4.5\ m^3/s\ ) / (0.32\ m^2) = 14\ m/s$$

Para un 50% de eficiencia el diámetro de corte se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{9 \cdot \mu \cdot B_C}{2 \cdot \pi \cdot n_t \cdot V_i(\rho_p - \rho_a)}\right]^{1/2}$$

Como no tenemos la viscosidad, ésta se obtiene por medio de la gráfica 1.1 (ver apéndice A), a 323.3 K es μ= 1.9x10^{-5}kg/m·s. También se asume que la viscosidad del aire es cero.

Entonces, sustituyendo con los factores de conversión adecuados:

$$[d_p]_{corte} = \left[\frac{(9)(1.9x10^{-5}\, kg/m \cdot s)(40cm)(1m/100cm)}{(2)(3.1416)(5)(14\, m/s)(1185.6kg/m^3)} \right]^{1/2}$$

$$[d_p]_{corte} = \left[\frac{6.84\, x10^{-5}}{521{,}454} \right]^{1/2} = 1.145x10^{-5}\, m$$

$$\boldsymbol{[d_p]_{corte} = 11.45\ \mu m}$$

Problema 3

Se tiene una distribución de partículas de un horno de cemento en la forma siguiente:

Tamaño de partícula (μm)	% en peso
1	3
5	20
10	15
20	20
30	16
40	10
50	6
60	3
>60	7

También se conoce la siguiente información:

μ = 0.02 cp   1 cp = 0.000672 lb/pie s
V_i = 50 pies/s
n_t = 5 vueltas
D_C = 10 pies
B_C =2.5 pies
ρ_{H_2O} = 62.4 lb/pie^3
S = 2.9

a) Calcule el diámetro de corte de la partícula colectada con un 50% de eficiencia y estime la eficiencia de colección total utilizando el método de Lapple.
b) Para ese mismo ciclón con una velocidad de entrada de 60 pies/s y una viscosidad de 0.018 cp, debido a una disminución de la temperatura, calcule el nuevo diámetro de corte de partícula y la nueva eficiencia de colección utilizando el método de Lapple.

Solución:
a) Aplicando la ecuación para calcular el diámetro de corte con un 50% de eficiencia:

$$[d_p]_{corte} = \left[\frac{9 \cdot \mu \cdot B_C}{2 \cdot \pi \cdot n_t \cdot V_i(\rho_p - \rho_a)}\right]^{1/2}$$

Como no tenemos la densidad de la partícula, ésta se calcula multiplicando la gravedad específica (S) por la densidad del agua, de esta manera se obtiene:

$$\rho_p = S \cdot \rho_{H_2O} = (2.9)(62.4\ lb/pie^3)$$

$$= 180.96\ lb/pie^3$$

$$[d_p]_{corte} = \left[\frac{(9)(0.02cp)(6.72x10^{-4}\ lb/pie \cdot s/1cp)(2.5\ pies)}{(2)(3.1416)(5)(50\ pies/s)(180.96\ lb/pie^3)} \right]^{1/2}$$

$$\mathbf{[d_p]_{corte} = 3.26x10^{-5}\ pies = 9.9\ \mu m\ \approx 10\ \mu m}$$

Después hay que utilizar el método de Lapple, en este método primero se calcula la relación $d_p/[d_p]_{corte}$, después se lee de la gráfica 2.1 la eficiencia para cada tamaño de partícula y esta eficiencia se multiplica por su contribución en peso, finalmente se suman cada una de las eficiencias fraccionales para obtener la eficiencia total. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

$d_p/[d_p]_{corte}$	η de gráfica	(% en peso)(η)
0.101	0	0
0.505	32	6.4
1.01	60	9.0
2.02	90	18.0
3.03	95	15.2
4.04	98	9.8
5.05	99	5.94
6.06	100	3.0
6.06	100	7.0

η_{total} = 74.34 %

b) Con la misma ecuación de la eficiencia, pero con los nuevos datos se obtiene:

$$[d_p]_{corte} = \left[\frac{(9)(0.018\ cp)(6.72x10^{-4}\ lb/pie \cdot s/1cp)(2.5\ pies)}{(2)(3.1416)(5)(60\ pies/s)(180.96\ lb/pie^3)} \right]^{1/2}$$

$$\mathbf{[d_p]_{corte} = 2.82x10^{-5}\ pies \approx 8.61\ \mu m}$$

También puede ser estimado por medio de la gráfica 2.2 que se encuentra en el apéndice A, utilizando los factores de corrección de las gráficas 2.3 y 2.4, que son:

Factor de corrección por viscosidad = 0.95
Factor de corrección por velocidad = 0.91

Por lo tanto el diámetro de corte se calcula:

$$[d_p]_{corte} = (0.95)(0.91)(9.9\mu m) = 8.6\ \mu m$$

Siguiendo el método de Lapple, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

$d_p/[d_p]_{corte}$	η de gráfica	(% en peso)(η)
0.12	0	0
0.58	37.5	7.5
1.16	65	9.75
2.33	91	18.2
3.49	97	15.52
4.65	99	9.9
5.81	100.0	6.0
6.98	100	3.0
6.98	100	7.0

η_{total} **= 76.66 %**

Problema 4

Un ciclón convencional o de Lapple (sin aspas o baffles) maneja un flujo de aire de 5,000 $pies^3$ actuales/min de una operación metalúrgica. El ciclón tiene un diámetro de 4 pies y una k de 0.5, las otras dimensiones se encuentran en la tabla. Con objeto de incrementar la eficiencia, se va a diseñar un nuevo grupo de ciclones con las mismas proporciones geométricas y la caída de presión del ciclón original. Si el diámetro del ciclón pequeño va a ser de 6 plg, ¿cuáles serán los valores de las nuevas dimensiones?. ¿Cuántos ciclones se necesitarán para manejar el gasto original a la misma caída de presión?

Datos:

$Q = 5000\ pies^3$ act/min
$D_c = 4$ pies → ciclón grande
$D_c = 6$ plg → ciclón pequeño

Solución:

Q	Ciclones 5000 $pies^3$/min = 83.33 $pies^3$/s	
$k_c =$	0.5	
$D_c =$	4 pies	6 plg = 0.5 pies
$B_c = 0.25 \cdot D_c$	1 pie	0.125 pies
$H_c = 0.5 \cdot D_c$	2 pies	0.25 pies
$D_e = 0.5 \cdot D_c$	2 pies	0.25 pies
$L_c = 2.0 \cdot D_c$	8 pies	1 pie
$Z_c = 2.0 \cdot D_c$	8 pies	1 pie

$$\Delta P = \left(\frac{0.0027 \cdot Q^2}{K_c \cdot D_e^2 \cdot B_c \cdot H_c \cdot \left(\frac{L_c}{D_c}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{Z_c}{D_c}\right)^{1/3}} \right)$$

$$\Delta P = \left(\frac{(0.0027)(83.33\ pies^3/seg)^2}{0.5(2pies)^2(1pie)(2pies)\left(\frac{8pies}{4pies}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{8pies}{4pies}\right)^{1/3}} \right) = 2.9plg_{agua}$$

al despejar Q para el nuevo grupo de ciclones:

$$Q = \left(\frac{\Delta P \cdot k_C \cdot D_e^2 \cdot B_C \cdot H_C \cdot \left(\frac{L_C}{D_C} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{Z_C}{D_C} \right)^{1/3}}{0.0027} \right)^{1/2}$$

$$Q = \left(\frac{2.95 \mathrm{plg}_{agua} (0.5)(0.25\mathrm{pies})^2 (0.125\mathrm{pies}) \cdot 0.25\mathrm{pies} \cdot \left(\frac{1\mathrm{pie}}{0.5\mathrm{pies}} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{1\mathrm{pie}}{0.5\mathrm{pies}} \right)^{1/3}}{0.0027} \right)^{1/2} = 1.30 \frac{\mathrm{pies}^3}{\mathrm{s}}$$

$$\#ciclones = \left(\frac{83.33 \frac{pies^3}{s}}{1.30 \frac{pies}{s}} \right) = \text{64.10 ciclones}$$

Problema 5

Determinar gráficamente la eficiencia de colección total para un ciclón convencional con las siguientes características:
D_C = 4 pies
S = 1.5
La distribución de partículas es:

Tamaño de partícula (μm)	% en peso
10	5
15	12
26	20.5
40	16
67	10
100	8
>100	3

Solución:
De acuerdo a la gráfica 2.2 el diámetro de corte sería de 7.8 μm

Por lo tanto, usando el método de Lapple para calcular la eficiencia, los resultados pueden verse en la siguiente tabla:

$d_p/[d_p]_{corte}$	η de gráfica	(% en peso)(η)
1.282	71	3.55
1.923	88	10.56
3.333	97	19.89
5.128	99	15.84
8.59	100	10.0
12.82	100	8.0
12.82	100	3.0

η_{total} = 70.84 %

Problema 6

Se diseña un ciclón con un ancho de entrada de 16 cm y cinco vueltas efectivas. La velocidad del gas a la entrada ha de ser de 25 m/s, y la densidad de la partícula es de 1.2 g/cm^3. Estímese el tamaño de la partícula que se colectará con 50% de eficiencia, si el gas es aire y su temperatura es de 350 °K.

Datos:
B_C = 16 cm
n_t = 5
V_i = 25 m/s
ρ_p = 1.2 g/cm^3

Solución:
Para un 50% de eficiencia el diámetro de corte se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{9 \cdot \mu \cdot B_C}{2 \cdot \pi \cdot n_t \cdot V_i(\rho_p - \rho_a)}\right]^{1/2}$$

Como no tenemos la viscosidad, ésta se obtiene de la gráfica 2.6 (ver apéndice A), que a 350 °K es $\mu = 2.1\text{x}10^{-5}$ kg/m·s. Además se asume que la densidad del aire es cero.
Entonces, sustituyendo con los factores de conversión adecuados, queda:

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{(9)(2.1x10^{-5}\,kg / m \cdot s)(16cm)(1m / 100cm)(1000g / 1kg)}{(2)(3.1416)(5)(25m / s)(1.2g / cm^3)(100cm / 1m)^3}\right]^{1/2}$$

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{0.03024}{942\,480\,000}\right]^{1/2} = 5.66x10^{-6}\,m$$

$[d_p]_{corte}$ = 5.66 μm

Problema 7

Se diseña un ciclón con un ancho de entrada de 6 plg y 5 vueltas efectivas.
a)¿Cuál es el tamaño de la partícula que se colectará de una corriente de aire a 300 °K, si el ciclón tiene una eficiencia del 80% y está operando con una velocidad de entrada de 40 pies/s y una densidad de partícula de 2.4 g/cm^3?
b) ¿Cuál será el tamaño de la partícula si se reduce la velocidad a 20 pies/s?

Datos:
B_C = 6 plg = 15.24 cm
n_t = 5
V_i = 40 pies/s = 12.2 m/s
ρ_p = 2.4 g/cm^3

Solución:
a) Para obtener el tamaño de partícula que será colectada con una eficiencia de 80%, primero es necesario conocer el diámetro de corte, posteriormente con el valor de la eficiencia se calcula (por medio de la gráfica 2.1 del Apéndice A) el diámetro de partícula colectada.

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{9 \cdot \mu \cdot B_C}{2 \cdot \pi \cdot n_t \cdot V_i(\rho_p - \rho_a)}\right]^{1/2}$$

Como no tenemos la viscosidad, ésta se obtiene de la gráfica 2.6 (ver apéndice A), a 300 °K es $\mu = 1.8x10^{-5}$ kg/m·s. Además se asume que la densidad del aire es cero. Entonces, sustituyendo con los factores de conversión adecuados, queda:

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{(9)(1.8x10^{-5} kg/m \cdot s)(15.24cm)(1m/100cm)(1000g/1kg)}{(2)(3.1416)(5)(12.2m/s)(2.4g/cm^3)(100cm/1m)^3}\right]^{1/2}$$

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{0.0247}{919\,860\,480}\right]^{1/2} = 5.181x10^{-6} m$$

$$\mathbf{[d_p]_{corte} = 5.181\ \mu m}$$

En la gráfica 2.1 del Apéndice A se lee que a una eficiencia del 80% le corresponde una relación $d_p/[d_p]_{corte}$ igual a 1.6, por lo tanto el tamaño de partícula que será colectada es:

$d_p/[d_p]_{corte} = 1.6$ entonces $d_p = (1.6)(5.181) =$ **8.3 μm**

b) Reduciendo la velocidad a 20 pies/s (6.1 m/s) y sustituyendo valores se obtendría:

$$[d_p]_{corte} = \left[\frac{(9)(1.8x10^{-5}\,kg/m\cdot s)(15.24\,cm)(1m/100cm)(1000g/1kg)}{(2)(3.1416)(5)(6.1\,m/s)(2.4g/cm^3)(100cm/1m)^3}\right]^{1/2}$$

$$[d_p]_{corte} = \left[\frac{0.0247}{459\,930\,240}\right]^{1/2} = 7.33x10^{-6}\,m$$

$$\mathbf{[d_p]_{corte} = 7.33\ \mu m}$$

Se lee nuevamente en la gráfica 2.1 que a una eficiencia del 80% le corresponde una relación $d_p/[d_p]_{corte}$ igual a 1.6, por lo tanto el tamaño de partícula que será colectada ahora es:

$d_p/[d_p]_{corte} = 1.6$ entonces $d_p = (1.6)(7.33) =$ **11.72 μm**

Problema 8

Un ciclón convencional o de Lapple, con un diámetro de 60 cm, maneja 2.5 m^3/seg de aire sucio a 300 ºK y 1.01 bars. La densidad de las partículas es de 1200 Kg/m^3.

a) Determinar la velocidad del gas a la entrada del ciclón.
b) Determinar el tamaño de la partícula colectada con 50% de eficiencia, si el número de vueltas efectivas es de 4.80
c) Determinar el tamaño de la partícula colectada con 20, 30, 70 y 100% de eficiencia para este mismo ciclón.

Datos:
D_c= 60 cm
n_t = 4.8
ρ_p = 1200 kg/m^3
T = 300 ºK
P = 1.01 bars
Q = 2.5 m^3/s

Solución:
a) Para obtener la velocidad del gas a la entrada del ciclón es necesario calcular el ancho de la entrada. De acuerdo a las proporciones normales de los ciclones, se tiene:

$$B_c = \frac{D_c}{4} = \frac{60cm}{4} = 15cm$$

$$H_c = \frac{D_c}{2} = \frac{60cm}{2} = 30cm$$

dado que:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B_c \cdot H_c} = \frac{2.5 \, m^3/seg}{(0.15m \cdot 0.3m)} = 55.55 \, m/s$$

b) El tamaño de la partícula colectada con un 50% de eficiencia se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$[d_p]_{corte} = \left[\frac{9 \cdot \mu \cdot B_c}{2 \cdot \pi \cdot n_t \cdot V_i \cdot (\rho_p - \rho_a)}\right]^{1/2}$$

Como no tenemos la viscosidad, ésta se obtiene de la gráfica 2.6 (ver apéndice A), a 300 ºK es μ=1.8x10^{-5} Kg/m·s. Además se asume que la densidad del aire es cero.

Sustituyendo, tenemos que:

$$\left[d_p\right]_{corte}=\left[\frac{9\cdot 1.8x10^{-5}\,\frac{kg}{m\cdot s}\cdot 15cm\cdot(1/100cm)(1000g/1\,kg)}{2(3.1416)\,(4.8)\,(55.55m/s)(1.2\frac{g}{cm^3})(100cm/1m)^3}\right]^{1/2}$$

$$\left[d_p\right]_{corte}=\left[1.21x10^{-11}\right]^{1/2}=3.476x10^{-6}\,m\cdot\left(\frac{1m}{1x10^{-6}\,\mu m}\right)$$

$$\left[d_p\right]_{corte}=3.476\,\mu m\approx 3.5\,\mu m$$

c) En la gráfica 2.1 del apéndice A se lee que a una **eficiencia del 20%** le corresponde una relación $\frac{d_p}{\left[d_p\right]_{corte}}\approx 0.41$, por lo tanto el tamaño de la partícula que será colectada es:

$\frac{d_p}{\left[d_p\right]_{corte}}\approx 0.41$ entonces d_p = 0.41 (3.476 μm)= 1.42 μm

Para η= 30% tenemos:

$\frac{d_p}{\left[d_p\right]_{corte}}\approx 0.48$ entonces d_p = 0.48 (3.476 μm)= 1.67 μm

Para η= 70% tenemos:

$\frac{d_p}{\left[d_p\right]_{corte}}\approx 1.25$ entonces d_p = 1.25 (3.476 μm)= 4.34 μm

Para η= 100% tenemos:

$\frac{d_p}{\left[d_p\right]_{corte}}\approx 10$ entonces d_p = 10 (3.476 μm)= 34.76 μm

Problema 9

Un ciclón estándar con un área de entrada de 60 plg^2 y un diámetro de 16 pulgadas, opera con aire que entra a 80 pies/s a 1.1 atm y 240° F. La densidad de la partícula es de 2.4 g/cm^3 y el número de vueltas efectivas es 5.
a) Estimar la caída de presión a través del ciclón.
b) Repetir el cálculo para un ciclón de 8.1 pulgadas de diámetro.

Datos:
$A = 60\ pulg^2 = 0.42\ pies^2$
Dc = 16 plg
V_i = 80 pies/s = 4800 pies/min
P = 1.1 atm
T = 240° F = 700° R
$\rho_p = 2.4\ g/cm^3$
$n_t = 5$

Solución:
a) Para calcular la caída de presión se puede aplicar la siguiente ecuación (Kenneth Wark, pp. 249).

$$\Delta P = \frac{(39.7)\cdot K \cdot Q^2 \cdot P^2}{T^2}$$

El factor empírico K es igual a 1×10^{-3} para un ciclón de 16 plg de diámetro (Kenneth Wark pp. 250). La caída de presión está en pulgadas de agua; Q en pies cúbicos por minuto; P y T son la presión y la temperatura del gas, en atmósferas y grados Rankine respectivamente. Sustituyendo los datos queda:

$$Q = A\ V = (0.42\ pies^2)\ (4800\ pies/min) = 2016\ pies^3/min$$

$$\Delta P = \frac{(39.7)(1x10^{-3})(2016)^2(1.1)^2}{(700)^2}$$

$\Delta P = 0.4$ plg de H_2O

b) Para un ciclón con 8.1 plg de diámetro el factor empírico K es igual 1×10^{-2}, entonces sustituyendo los datos, ahora la caída de presión sería:

$$Q = A\ V = (0.45\ pies^2)\ (4800\ pies/min) = 216\ pies^3/min$$

$$\Delta P = \frac{(39.7)(1x10^{-2})(216)^2(1.1)^2}{(700)^2}$$

$\Delta P = 0.04574$ plg de H_2O

Problema 10

Calcular gráficamente la eficiencia de colección total para un ciclón convencional cuyas condiciones de operación son:

Datos:

μ = 0.02 cp
V_i = 50 pies/s
n_t = 5 vueltas
D_C = 5 pies
S = 2.0

La distribución de partículas es:

Tamaño de partícula (μm)	% en peso
5	2
10	8
20	13
30	26
50	12
75	11
100	9
200	8
>200	11

Solución

Como los datos de operación del ciclón son los mismos para los que se puede usar de forma directa la gráfica 2.2 para estimar el tamaño del diámetro de corte, sin usar factores de corrección posteriormente, entonces los resultados serían:

$d_p/[d_p]_{corte}$	η de gráfica	(% en peso)(η)
0.64	42	8.4×10^{-3}
1.28	70	0.056
2.56	92	0.1202
3.85	98	0.2548
6.41	99	0.1188
9.61	100	0.11
12.82	100	0.09
25.64	100	0.08
-	100	0.11

η_{total} **= 0.9482**

Problema 11

Se quiere diseñar un ciclón que removerá con un 50% de eficiencia, partículas de 15 μm de una corriente de aire de 6.3 m^3/s. La temperatura del aire es de 75ºC, y la gravedad específica de la partícula es de 1.5. Asumir 5 vueltas efectivas para un ciclón convencional o de Lapple.

Datos
$B_C = 0.5$ m
$n_t = 5$
T = 75ºC
S = 1.5
$Q_C = 6.3\ m^3/s$

Solución:
La densidad de la partícula es:

$$S_p = (\rho_p) / (\rho_{agua}) \Rightarrow \rho_p = S_p \cdot \rho_{agua} = (1.5)(975\ kg/m^3) = 1462.5\ kg/m^3$$

Para un 50% de eficiencia el diámetro de corte se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{9 \cdot \mu \cdot B_C}{2 \cdot \pi \cdot n_t \cdot V_i(\rho_p - \rho_a)}\right]^{1/2}$$

Como no tenemos la viscosidad, esta se obtiene de la gráfica 2.6 (ver apéndice A), a 348.3 ºK es $\mu = 2.1\times10^{-5}$ kg/m·s. También se asume que la viscosidad del aire es cero.
Para obtener la velocidad del gas a la entrada del ciclón es necesario calcular el área de la entrada. De acuerdo a las proporciones normales de los ciclones convencionales, se tiene lo siguiente:

$$B_c = D_c / 4 \text{ entonces } D_c = (B_c)(4) = (0.5\ m)(4) = 2\ m$$

$$H_c = D_c / 2 = (2m / 2) = 1m$$

finalmente, $A = (H_c)(B_c) = (1\ m)(0.5\ m) = 0.5\ m^2$

y la velocidad es: $V = Q / A = (6.3\ m^3/s)/(0.5\ m^2) = 12.6\ m/s$

Entonces, sustituyendo con los factores de conversión adecuados:

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{(9)(2.1x10^{-5} kg/m \cdot s)(0.5m)}{(2)(3.1416)(5)(12.6\ m/s)(1462.5\ kg/m^3)}\right]^{1/2}$$

$$\left[d_p\right]_{corte} = \left[\frac{9.45x10^{-5}}{578916.98}\right]^{1/2} = 1.27\,x\,10^{-5} m$$

$$\mathbf{[d_p]_{corte} = 12.7\ \mu m}$$

Colectores húmedos

3. COLECTORES HÚMEDOS

Problema 1

Un colector húmedo se va a utilizar para colectar polvos de un horno de cubilote. Las mediciones en la chimenea revelan que las emisiones deben reducirse un 85% para cumplir las normas. Si una unidad piloto de 100 pies^3/min se opera con un gasto de agua de 0.5 gal/min a una presión de agua de 80 psia, qué caída de presión se necesitará a través de una unidad de 10,000 pies^3/min.

Datos:

η = 85%
Q_G = 100 pies^3/min
Q_L = 0.5 gal/min
p_L = 80 psia

Solución:
Utilizando la ecuación para obtener la eficiencia de colección

$$\eta = 1 - e^{-\alpha P_T^{\beta}}$$

Despejando la energía total de contacto P_T:

$$P_T = \left[\frac{\ln(1-\eta)}{-\alpha}\right]^{\frac{1}{\beta}}$$

Los valores de α y de β para este proceso son 1.35 y 0.621 respectivamente, sustituyendo se obtiene:

$$P_T = \left[\frac{\ln(1-0.85)}{-1.35}\right]^{\frac{1}{0.621}} = [-1.897/-1.35]^{1.610} = 1.73$$

P_T = 1.73 hp/(1000 pies^3/min)

De acuerdo con la ecuación de Semrau, la energía total de contacto es:

$$P_T = 0.1575\ \Delta P + 0.583\ p_L\ (Q_L/Q_G)$$

Despejando ΔP y sustituyendo valores queda:

$$\Delta P = \frac{P_T - 0.583\ p_L\left(\dfrac{Q_L}{Q_G}\right)}{0.1575}$$

$$\Delta P = \frac{1.73 - 0.583\ (80\,psia)\left(\dfrac{0.5\,gal/min}{100\,pies^3/min}\right)}{0.1575}$$

$$\mathbf{\Delta P = 9.50\ plg\ de\ H_2O}$$

Problema 2

Se propone utilizar una torre con espreas a la salida de un horno de cal para reducir la carga de sólidos a la atmósfera. La carga de entrada en la corriente de gas del horno es de 5 granos/pie^3 y se debe reducir a 0.05 granos/pie^3 para cumplir con la norma. El diseño señala una p_L de 80 psia y una caída de presión a través de la torre de 5 plg de H_2O. El gasto del gas es de 10,000 pies^3/min y el del agua es de 50 gal/min.

Aplique la teoría de energía de contacto y conteste lo siguiente:

1.- ¿Cumplirá la torre con la norma?
2.- ¿Qué energía total de contacto se requiere en el sistema para cumplir con la norma?
3.- Proponga una serie de condiciones de operación para alcanzar la norma.
4.- ¿Que conclusiones se pueden deducir con respecto a la aplicación de esta torre para estas características?

Datos:

$\alpha = 1.26$
$\beta = 0.57$
$p_L = 80$ psia
$Q_G = 10{,}000$ pies^3/min
$Q_L = 50$ gal/min
$\Delta P = 5$ plg de H_20

Solución:

1) La energía total de contacto sería:

$$P_T = 0.1575\ \Delta P + 0.583\ p_L\ (Q_L/Q_G)$$

sustituyendo valores:

$$P_T = 0.1575\ (5 \text{ pulg de } H_2O) + 0.583\ (80 \text{ psia})(50 \text{ gal/min} / 10000 \text{ pies}^3\text{/min})$$

$$P_T = (0.7875)+(46.64)(.005)=1.0207 \text{hp/1000pies}^3\text{/min}$$

Entonces se calcula la eficiencia de colección con:

$$\eta = 1 - e^{-\alpha P_T^{\beta}}$$

sustituyendo valores queda:

$$\eta = 1 - e^{-(1.26)(1.0207)^{0.57}} = 1 - e^{-(1.2748)}$$

η = 1 - 0.2795 = 0.7205 = 72.05 %

Con este resultado no se cumpliría con la norma, ya que está exige un 99% de recolección.

2) Como se requiere un 99% de eficiencia, se calcula la energía total de contacto necesaria con la siguiente ecuación:

$$P_T = \left[\frac{\ln(1-\eta)}{-\alpha}\right]^{\frac{1}{\beta}}$$

Los valores de α y de β para este proceso son 1.26 y 0.57 respectivamente, sustituyendo se obtiene:

$$P_T = \left[\frac{\ln(1-0.99)}{-1.26}\right]^{\frac{1}{0.57}} = \left[\frac{-4.6051}{-1.26}\right]^{1.7544}$$

P_T = 9.716 hp/1000 pies^3/min

3) Para alcanzar la norma se puede trabajar con el ΔP y el p_L máximos, aumentar el flujo del líquido y disminuir el del gas. De esta forma unos flujos adecuados pueden ser Q_L = 70 gal/min y Q_G = 555 pies^3/min.

4) El equipo limpiaría una corriente de gas muy pequeña con un gran flujo de agua para cumplir esa eficiencia tan alta que se requiere.

Problema 3

Se propone la instalación de un colector húmedo tipo Venturi para reducir la descarga de partículas de un horno de acero de corazón abierto. La información preliminar para el diseño nos da los datos siguientes: la relación de gastos de líquido a gas es de (0.802 gal/min / 1,000 pies^3/min) para este equipo. Estime la eficiencia de colección del Venturi.

Datos:
$\alpha = 1.26$
$\beta = 0.57$
$\Delta p = 36$ plg de H_2O
$p_l = 5$ psi

Solución:
Se calcula la energía total de contacto con la siguiente ecuación:

$$P_T = 0.1575\ \Delta P + 0.583\ p_l\ (Q_L/Q_G)$$

sustituyendo valores:

$$P_T = 0.1575\ (36 \text{ plg de } H_2O) + 0.583\ (5 \text{ psi})\ (0.802 \text{ gal / min/1000 pies}^3\text{/min})$$

$$P_T = 5.67 + (0.002334) = 5.6723 \text{ hp/1000 pies}^3\text{/min}$$

Para calcular la eficiencia se aplica:

$$\eta = 1 - e^{-\alpha P_T{}^{\beta}}$$

sustituyendo queda:

$$\eta = 1 - e^{-(1.26)(5.67)^{0.57}}$$

$$\eta = \mathbf{0.9662 = 96.62\ \%}$$

Problema 4

Una corriente de gas con partículas de cenizas volantes se va a limpiar con un colector húmedo tipo Venturi utilizando una relación de líquido a gas de 8.5 gal/1000 pies^3. La eficiencia se calcula mediante la ecuación de Johnstone:

$$\eta_i = 1 - e^{-k\left(\frac{Q_L}{Q_G}\right)\sqrt{\varphi_i}}$$

η_i = eficiencia fraccional

Las cenizas volantes tienen una densidad de partícula de 0.7 g/cm^3 y una k = 200 pies^3/gal y se utiliza una velocidad en la garganta de 272 pies/s. La viscosidad del gas es de 1.5 x 10^{-5} lb/pie·s y la distribución de partículas es la siguiente:

Diámetro de partícula (μm)	% en peso
< 0.10	0.01
0.1 - 0.5	0.21
0.6 - 1.0	0.78
1.1 - 5.0	13.0
6.0 - 10.0	16.0
11.0 - 15.0	12.0
16.0 - 20.0	8.0
> 20.0	50.0

Datos

ρ_p =0.7 g/cm^3 (62.43lb/pie^3/1g/cm^3) =43.7 lb/pie^3
k = 200 pies^3/gal
μ_g = 1.5x10^{-5} lb/pie·s
V = 272 pies/s
Q_L=8.5 gal/min
Q_G=1000 pies^3/min
C_f =1

Solución:
De la correlación de Nukiyama-Tanasawa para un sistema de aire-agua se puede calcular el diámetro de la gota de agua (d_o), por medio de la siguiente ecuación:

$$d_o = \left[\frac{16400}{V} + 1.45\left(\frac{Q_I}{Q_G}\right)^{1.5}\right]$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$d_o = \left[\frac{16400}{272\ pies\ /\ s} + 1.45\left(\frac{8.5 gal\ /\ min}{1{,}000\ pies^3\ /\ min}\right)^{1.5}\right]$$

$$d_o = 60.29\ \mu m\ (1 m/1x10^6 \mu m)(1\ pie/0.3048\ m)$$

$$\mathbf{d_o = 1.978x10^{-4}\ pies}$$

Para poder calcular la eficiencia, es necesario obtener el parámetro de impactación con la siguiente ecuación:

$$\psi_i = \frac{C_f \cdot d_p^2 \cdot \rho_p \cdot V}{18 \cdot \mu \cdot d_o}$$

Sustituyendo valores constantes en las unidades correctas y dejando la ecuación solo en función del d_p se obtiene:

$$\psi_i = \frac{(1)(d_p^2)(43.7\ \ lb/pie^3)(272 pies/s)}{(18)(1.5x10^{-5} lb/pie \cdot s)(1.978x10^{-4} pie)}$$

$$\psi_i = d_p^2\ (2.226x10^{11})$$

Entonces, se calcula el factor de corrección para el valor medio del tamaño de partícula (en p ies) y con dicho valor se puede obtener la eficiencia fraccional, los resultados finales pueden verse en la siguiente tabla:

d_p (pies)	X (% en peso)	ψ_i	η_i	$(\eta_i)(X)$
$3.281x10^{-7}$	0.01	$23.963x10^{-3}$	0.231	$2.310x10^{-5}$
$9.842x10^{-7}$	0.21	0.216	0.546	$1.147x10^{-3}$
$2.625x10^{-6}$	0.78	1.534	0.878	$6.848x10^{-3}$
$1.000x10^{-5}$	13	22.260	1.000	0.13
$2.625x10^{-5}$	16	153.385	1.000	0.16
$4.265x10^{-5}$	12	404.914	1.000	0.12
$5.905x10^{-5}$	8	776.184	1.000	0.08
$6.562x10^{-5}$	50	958.512	1.000	0.50
				η_T= 0.9980

Problema 5

El agua se introduce en la garganta de un colector húmedo tipo Venturi a una tasa de 1 l/m^3 de aire. La velocidad del aire es de 400 pies/s, la densidad del aire es de 0.072 lb/pies^3 y la temperatura de 170 ºF. El área de la garganta es de 125 plg^2, el parámetro *f* es igual a 0.25, y la densidad de partícula es de 1.5 g/cm^3. Para un tamaño de partícula de 1μm. Determine la ΔP y la penetración (P*t*).

Datos:
L = 1 l/m^3 (1 gal/ 3.785 l) (0.3048 m/1 pie)^3 = 7.4813x10^{-3} gal/ pie^3
T = 170ºF=5/9(170-32)=76.66 ºC+273.15=349.82 K
A = 125 plg^2 ·(1pie/12plg)^2=0.8680 pie^2
f = 0.25
d_p = 1μm
ρ_p = 1.5 g/cm^3
V_G = 400 pies/s
ρ_L = 1g/cm^3
ρ_G = 0.072 lb/pie^3

Solución:
Aplicando la ecuación de Hesketh para la caída de presión, se tiene:

$$\Delta P = \frac{V_G{}^2 \cdot \rho_G \cdot A^{0.133}}{507}\left(0.56 + 0.125L + 2.3x10^{-3}L^2\right)$$

Sustituyendo valores en las unidades adecuadas y L = 7.4813x10^{-3} gal/ pie^3:

$$\Delta P = \left[\frac{(400)^2(0.072)\,(0.868)^{0.133}}{507}\right]\left(0.56 + (0.125(7.4813x10^{3})) + (2.3x10^{-3})\,(7.4813x10^{-3})^2\right)$$

$$\Delta P = (22.2980)(0.5609) = 12.5077 \text{ plg } H_2O(2.5\text{cm}/1 \text{ plg}) = 31.2693 \text{ cm } H_2O$$

Para obtener la penetración se utiliza la ecuación de Calvert:

$$P_t = e^{-\left[\frac{6.1x10^{-11} \cdot \rho_L \cdot \rho_p \cdot k_c \cdot d_p{}^2 \cdot f^2 \cdot \Delta P}{\mu_g{}^2}\right]}$$

Como no tenemos el valor de k_c (factor de corrección, ver dinámica de partículas en el capítulo 1 de este problemario), puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$k_c = 1 + \frac{9.73x10^{-3}T^{1/2}}{d_P} = 1 + \frac{(9.73x10^{-3})(349.8K)^{1/2}}{1\mu m}$$

$$k_c = 1.182$$

La viscosidad del gas es de $2.08x10^{-5}$ kg/m·s, sustituyendo valores en la ecuación de Calvert, se tiene:

$$P_t = e^{-\left[\frac{(6.1x10^{-11})(1g/cm^3)(1.5g/cm^3)(1.182)(1\mu m)^2(0.25)^2(31.2693 cmdeH_2O)}{(2.08x10^{-5} kg/m\cdot s)^2}\right]}$$

$$P_t = e^{-\left[4.88\times10^{-7}\right]}$$

P_t = 0.9999=99.99 %

Problema 6

Entra agua en un lavador Venturi con una tasa de 8.98 gal/min /1000 pies^3/min de aire. La temperatura del aire es de 80 °F, su densidad es 0.075 lb/pie^3 y su velocidad es de 380 pies/s. El área de la garganta es de 150 plg^2 y el parámetro *f* se puede tomar como 0.22. Si la densidad de las partículas es de 1.7 g/cm^3 y el tamaño promedio de la partícula es de 1.2 μm, estimar la caída de presión (ΔP).

Datos:
L= 8.98 gal/1000 pies^3
T= 80 °F
A = 150 pulg^2 (1 pie^2/144 pulg^2) = 1.042 pies^2
f = 0.22
ρ_p = 1.7 g/cm^3
d_p = 1.2 μm
ρ_G = 0.075 lb/pie^3
V_G = 380 pies/s
ρ_l =1 g/cm^3
μ_g=1.84x10^{-5} kg/m·s = 1.24 x10^{-5} lb/pie·s

Solución:
Aplicando la ecuación de Hesketh para la caída de presión, se tiene:

$$\Delta P = \left[\frac{(V_G)^2 \cdot \rho_G \cdot A^{0.133}}{507}\right]\left(0.56 + (0.125 \cdot L) + (2.3x10^{-3} \cdot L^2)\right)$$

Sustituyendo valores:

$$\Delta P = \left[\frac{(380 pies/s)^2 \cdot 0.075 lb/pie^3 \cdot 1.042^{0.133} pies^2}{507}\right]\left(0.56 + (0.125 \cdot (8.98/1000) + (2.3x10^{-3} \cdot (8.98/1000)^2)\right)$$

ΔP= 12.05 plg de H_2O

Problema 7

¿Cuál será la velocidad del gas en una corriente de aire a presión y temperatura estándar, si se tiene un número de Reynolds de 260 a la entrada de un Venturi y el tamaño de la gota de agua es de 90 μm?

Con la velocidad anterior estimar la caída de presión, si se tiene un área de sección transversal del Venturi de 0.010 m^2 y una relación de gasto volumétrico del gas y del líquido de 600/1.

Datos
Re = 260
$A = 0.010\ m^2\ (1pie/0.3048\ m)^2 = 0.1076\ pies^2$
$d_o = 90\ \mu m\ (1m/1x10^6\ \mu m)(\ 1pie/0.3048\ m) = 2.953\ x10^{-4}\ pies$
$\mu_a = 0.047 lb/pie\cdot h$
$\rho_a = 0.0739 lb/pie^3$

Solución:
De acuerdo con el número de Reynolds:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho_a \cdot V_G \cdot d_o}{\mu_a}$$

De las tablas del apéndice A, la μ_a = 0.047lb/pie·h y $\rho_a = 0.0739 lb/pie^3$ entonces, despejando la velocidad del gas y sustituyendo valores se obtiene:

$$V_G = \frac{\mathrm{Re}\cdot \mu_a}{\rho_a \cdot d_o}$$

$$V_G = \frac{(260)(0.047 lb/pie\cdot h)(1h/3600s)}{(0.0739 lb/pie^3)(90\mu m)(1m/1x10^6\mu m)(1pie/0.3048m)}$$

$$V_G = \frac{33.93x10^{-4}\ lb/pie\cdot s}{21.822x10^{-6}\ lb/lb^2} = 155.48\ \frac{pie}{s}$$

Con la velocidad del gas se puede obtener la caída de presión utilizando la ecuación de Hesketh:

$$\Delta P = \frac{V_G^{\ 2} \cdot \rho_G \cdot A^{0.133}}{507}\left(0.56 + 0.125L + 2.3x10^{-3}L^2\right)$$

La relación de flujo de líquido a flujo de gas (L) que tenemos es de 1 gal de líquido/600 gal de gas, pero como las unidades de este factor deben de ser en gal/pie^3 entonces:

600 gal (3.785 l/1 gal)(1m^3/1000 l)(1 pie/0.3048m)^3 = 80.2 pies^3

Entonces se hace una regla de tres para obtener cuantos galones de líquido se necesitan para 1,000 pies^3 y se obtiene:

1 galón de agua ------ 80.2 pies^3 de aire
X ------ 1,000 pies^3 de aire

X = 12.469 gal de agua

L = (12.469 gal/min)/ (1000 pies^3 /min)

Sustituyendo valores en las unidades adecuadas:

$$\Delta P = \left[\frac{(155.48 pies/s)^2(0.0739 lb/pie^3)(0.1076^{0.133})}{507}\right](0.56 + (0.125)(12.469/1000) + (2.3x10^{-3})(12.469/1000)$$

ΔP = 1.47 plg de H_2O

Problema 8

Con base en los datos y resultados del problema anterior, determinar la penetración dada por la ecuación de Calvert, para diámetros de partícula de 0.3 0.5, 1.0, 1.2 y 1.5 μm. El valor de f es 0.3 y la densidad de las partículas es 1,600 kg/m^3.

Datos:
V_G =155.48 pies/s (30.48 cm/1 pie) =4739.03 cm/s
Q_L/Q_G = 1gal/600 gal
f = 0.3
ρ_p = 1.6 g/cm^3
ρ_L =1 g/cm^3
T =25ºC
μ_g =1.85x10^{-5} kg/m·s

Solución
Para calcular la penetración se utiliza la ecuación de Calvert:

$$P_t = e^{-\left[\frac{6.1x10^{-11} \cdot \rho_L \cdot \rho_p \cdot k_C \cdot d_p{}^2 \cdot f^2 \cdot \Delta P}{\mu_g^2}\right]}$$

pero no tenemos la caída de presión y k_C está en función del diámetro de partícula. La caída de presión se obtiene con la ecuación de Calvert de la siguiente forma:

$$\Delta P = 1.02x10^{-3} V_G^2 \, (Q_L/Q_G) = (1.02x10^{-3})(4739.03 \text{ cm/s})^2(1/600)$$

$$\mathbf{\Delta P = 38.179 \text{ cm de } H_2O}$$

El valor de k_c se obtiene con la siguiente ecuación:

$$k_c = 1 + \frac{9.73x10^{-3} T^{1/2}}{d_p}$$ a temperatura estándar (T= 25 ºC=298 °K)

Sustituyendo la ecuación k_c en la ecuación de Calvert, tenemos:

$$P_t = e^{-\left[\frac{6.1\times10^{-11}(1g/cm^3)(1.6g/cm^3)(1+(9.73\times10^{-3})(298K)^{1/2}/d_p)(d_p^{\,2})(0.3)^2(38.18cm\,de\,H_2O)}{(1.85\times10^{-5}kg/m{\cdot}s)^2}\right]}$$

$$P_t = e^{-\left[\frac{6.1\times10^{-11}(1)(1.6)(1+(9.73\times10^{-3})(298K)^{1/2}/d_p)(d_p^{\,2})(0.09)(38.18)}{(3.42\times10^{-10})}\right]}$$

Para cada tamaño de partícula se muestran los resultados de P_t en la tabla siguiente:

Diámetro de partícula (μm)	k_c	P_t
0.3	1.55	0.87
0.5	1.33	0.72
1.0	1.16	0.31
1.2	1.13	0.19
1.5	1.11	0.08

Casas de bolsas

4. CASAS DE BOLSAS

Problema 1

En un sistema de filtración de bolsas una corriente de aire que contiene 1 grano de partículas por pie^3 de aire, da una caída de presión máxima de 5 plg de H_2O a un flujo de 3 $pies^3$/min por pie^2 de superficie filtrante.

a) Calcular los hp requeridos en el ventilador para dar un flujo de 6,000 $pies^3$/min a través de la casa de bolsas.

b) Calcular el número de bolsas filtrantes de 0.5 pies de diámetro por 10 pies de altura que se requieren en el sistema.

La eficiencia del motor del ventilador es de 63%.

Datos:
L_D = 1 grano/pie^3
V_f = (3 $pies^3$/min)/(pie^2 de superficie filtrante)
ΔP = 5 plg de H_2O
η = 63%
Q = 6,000 $pies^3$/min

Solución:
a) La cantidad de hp requeridos se calcula con la siguiente ecuación:

$$hp = \frac{Q \cdot \Delta P \cdot 1.575 \times 10^{-4}}{\eta}$$

sustituyendo queda:

$$hp = \frac{(6{,}000 pies^3/min)(5\text{ plg de}H_2O)(1.575 \times 10^{-4})}{0.63}$$

hp = 7.5

b) Con la relación de flujo/superficie filtrante se calcula en número de bolsas necesarias.

Si para tratar 3 $pies^3$/min se necesita 1 pie^2 de tela filtrante. Entonces para 6,000 $pies^3$/min se necesitan

$$(6{,}000\ pies^3/min)/(\frac{3\ pies^3/min}{pie^2}) = 2{,}000\ pies^2\text{ de tela}$$

$$\text{Área de cada bolsa} = \pi\ (0.5pies)(10pies) = 15.7\ pies^2$$

Número de bolsas = tela requerida/Área de cada bolsa = 2000/15.7 = **128 bolsas**

Problema 2

Cuantas bolsas de 8 plg de diámetro y 12 pies de largo deben de utilizarse para tratar el gas de salida de una industria maderera, con una carga de partículas de 2 granos/pie^3 y un ventilador que produce 7,000 pies^3/min. Estimar la caída de presión después de 4 hrs de operación si el coeficiente de resistencia del filtro es de 0.8 plg de H_2O/ pie·min y el coeficiente de resistencia de la capa de polvo es de 3 plg de H_2O/(lb/pie^2 de tela)(pie/min). Considere que la velocidad de filtración es de 2 pies/min.

Calcular :
a) Área total de la tela
b) Área de cada bolsa
c) Número de bolsas

Datos:
d = 8 plg = 0.666 pies
H = 12 pies
L_D = 2 granos/pie^3 (1lb/7000 granos) = 2.86×10^{-4} lb/pie^3
Q = 7,000 pies^3/min
t = 4 h = 240 min
K_1 = 0.8 plg de H_2O/(pie/min)
K_2 = 3 plg de H_2O/ (lb/ft^2)(pie/min)
V_f = 2 pies/min

Solución:
a) La caída de presión después de cuatro horas se calcula como sigue:

$$\Delta P_T = k_1 V_f + k_2\, L_D\, V_f^2\, t$$

Sustituyendo valores queda:

ΔP_T = [0.8 plg de H_2O/(pie/min)x(2 pies/min)] **+** [3 plg de H_2O/(lb/ft^2)(pie/min)x (2.86×10^{-4} lb/pie^3)x(2 pies/min)^{2}x(240 min)

ΔP_T = 1.6 + 0.823 = **2.423** plg de H_2O

b) Área de cada bolsa = π (0.666pies)(12pies) = 25 pies^2

c) Número de bolsas = Superficie requerida/Área de cada bolsa

Superficie requerida = Q/V = (7,000 pies^3/min) / (2 pies/min) = 3500 pies^2

Número de bolsas = (3,500 pies^2) / (25 pies^2) = **140 bolsas**

Problema 3

Una planta emite 50,000 pies^3/min de gas, con una carga de polvo de 5 granos/pie^3. El polvo se colecta con un filtro de tela de una eficiencia de 98% cuando el promedio de la velocidad de filtración es de 10 pies/min. La caída de presión esta dada por:

$$\Delta p = 0.2V_f + 5\ C_i\ V_f^2\ t$$

a) ¿Cuantas bolsas cilíndricas de 1 pie de diámetro y 15 pies de altura se necesitan?
b) El sistema está diseñado para darle limpieza cuando la caída de presión alcanza 8 plg de H_2O. ¿Qué tan frecuentemente se deben limpiar las bolsas?

Datos:
Q = 50,000 pie^3/min
C_i = 5 granos/pie^3
η = 98%
V_f = 10 pies/min

Solución:
a) La cantidad de superficie filtrante = (Q/V_f) = (50,000 pies^3/min) / (10 pies/min)

La cantidad de tela necesaria = 5,000 pies^2

Número de bolsas = Superficie requerida/Área de cada bolsa

Número de bolsas = (5,000 pies^2) / π (1 pie)(15 pies) = **106 bolsas**

b) Usando la relación:

$$\Delta p = 0.2V_f + 5\ C_i\ V_f^2\ t$$

Sustituyendo queda:

8 pulg de H_2O=0.2(10 pies/min)+5 (5 granos/pie^3)(1 lb/7000 granos)(10 pies/min)^2**(t)**

Despejando el tiempo (t):

$$t = \frac{\Delta P - 0.2V_f}{5C_iV_f^2}$$

$$t = \frac{8\,pu\lg\,deH_2O - (0.2)(10\,pies/\min)}{5(5\,granos/pie^3)(1lb/7000\,granos)(10\,pies/\min)^2}$$

t = 16.8 min

Problema 4

Se propone instalar un sistema de filtros de tela con limpieza de pulsos de aire para limpiar 13654 pies^3 act/ min de aire a una temperatura de 250ºF, con una carga de 4 granos/pie^3 de contaminante. Para una eficiencia de 99%, la relación promedio aire-tela es de (2.5 pies^3/min)/pie^2 de tela. Los fabricantes de las bolsas proporcionan la siguiente información para la selección del filtro.

Tela del filtro	A	B	C	D
Resistencia a la tensión	Excelente	Buena	Regular	Excelente
Temperatura de operación máxima recomendada (ºF)	260	275	260	220
Factor de resistencia	0.9	1.0	0.5	0.9
Costo relativo por bolsa	2.6	3.8	1.0	2.0
Tamaño estándar (plg X pies)	8 x 16	10 x 16	1 x 16	1 x 20

a) Determinar el área de filtración requerida para esta operación, basados en el área y en la información dada por el fabricante, seleccionar la tela mas adecuada para las bolsas.
b) Calcular el número de bolsas que se requieren.

Datos:
Q = 13654 pies^{3}act/min
C_i = 4 granos/pie^3
η = 99%
T = 250ºF

Solución:
De la tabla anterior se observa que el filtro "D" opera a 220ºF, por lo tanto queda descartado. Para los filtros restantes se calcula el número de bolsas necesarias y el costo total, de la siguiente manera.

La cantidad de superficie filtrante = (Q/V_f) = (13654 pies^3 act /min) / (2.5 pies/min)

La cantidad de tela necesaria = 5461.6 pies^2

Para el filtro tipo "A":

Número de bolsas = Superficie requerida/Área de cada bolsa

Número de bolsas = (5461.6 pies^2) / π (0.666 pies)(16 pies) = **163 bolsas**

Costo total = Número de bolsas X Costo de cada bolsa

Costo total = 163 bolsas X 2.6 = 424 con excelente resistencia a la tensión.

Para el filtro tipo "B":

Número de bolsas = Superficie requerida/Área de cada bolsa

Número de bolsas = (5461.6 pies^2) / π (0.8333 pies)(16 pies) = **130 bolsas**

Costo total = Número de bolsas X Costo de cada bolsa

Costo total = 130 bolsas X 3.8 = 495 con una buena resistencia a la tensión.

Para el filtro tipo "C":

Número de bolsas = Superficie requerida/Ärea de cada bolsa

Número de bolsas = (5461.6 pies^2) / π (0.0833 pies)(16 pies) = **1304 bolsas**

Costo total = Número de bolsas X Costo de cada bolsa

Costo total = 1304 bolsas X 1.0 = 1304 con una regular resistencia a la tensión.

Por lo tanto el filtro tipo "A" es el que se recomienda adquirir, ya que el costo de compra es menor a los otros dos y además presenta excelente resistencia a la tensión.

Problema 5

Se pasas aire a 170°F a través de un filtro de tela por un período de 5 horas y 40 minutos, después de lo cual la caída de presión total se mide y es igual a 4.74 plg de H_2O. La densidad de la partícula es 1.28 g/cm^3, la presión residual a través del filtro limpio antes de la prueba es de 0.55 plg de H_2O. La velocidad del aire se mantiene a 4.2 pies/min durante la prueba, siendo la carga inicial de las partículas de 14 granos/pie^3. Estime la permeabilidad K_p de la capa de polvo en pies^2.

Datos:

T = 170°F

T = 5 hrs 40 min = 340 min

ΔP_T = 4.74 plg de H_2O

$$\rho_c = 1.28\frac{g}{cm^3} = 1280\frac{Kg}{m^3}\left(\frac{1lb}{0.456Kg}\right)\left(\frac{0.3048m}{1pie}\right)^3 = 79.486\frac{lb}{pie^3}$$

V = 4.2 pies/min

$$C_i = 14\frac{gr}{pie^3}\left(\frac{1lb}{7000gr}\right) = 0.002\frac{lb}{pie^3}$$

$\mu = 8.4\times10^{-4}$ lb/pie*min

ΔP_f = 0.55 plg de H_2O

Solución:

Para obtener la permeabilidad de la capa de polvo, despejamos K_p de la siguiente ecuación Kenneth Wark:

$$\Delta P_p = \frac{V^2 C_i t \mu_g}{K_p \rho_c} \quad \text{y tenemos que} \quad K_p = \frac{V^2 C_i t \mu_g}{\Delta P_p \cdot \rho_c}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_f + \Delta P_p \Rightarrow \Delta P_p = \Delta P_T - \Delta P_f$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$\Delta P_p = 4.74 p\lg H_2O - 0.55 p\lg H_2O = 4.19 p\lg H_2O$$

Realizando las conversiones convenientes, se tiene:

$$\Delta P_p = 4.19\,p\lg H_2O\left(0.036\,\frac{lb_f/p\lg^2}{p\lg H_2O}\right)\left(32.174\,\frac{lb_m pie/s^2}{lb_f}\right)\left(\frac{60s}{1\min}\right)^2\left(\frac{12p\lg}{1pie}\right)^2$$

$$\Delta P_p = 2,515,860.6\,\frac{\text{lbm}}{\min^2\cdot\text{pie}}$$

Sustituyendo valores para encontrar K_p, tenemos:

$$K_p = \frac{\left(4.2\,{}^{pie}/_{min}\right)^2\left(0.002\,{}^{lb}/_{pie^3}\right)(340\min)\left(8.4x10^{-4}\,{}^{lb}/_{pie\,min}\right)}{\left(2{,}515{,}860.6\,{}^{lbm}/_{min^2\cdot pie}\right)\left(79.486\,{}^{lb}/_{pie^3}\right)} = 5.038x10^{-11}\,pie^2$$

Problema 6

El aire a 150 °F, con una carga de polvo de 5 granos/pie^3 pasa a través de un filtro de tela con una velocidad superficial de 3 pies/min (relación aire a tela). La permeabilidad del polvo es de 2.5×10^{-11} pies^2 y la densidad promedio de la torta de polvo es de 1.4 g/cm^3.
a) Si la caída residual de presión a través de la tela limpia es de 0.4 plg de agua, estimar el tiempo requerido en horas, para que la caída total de presión llegue a 3.5 plg de H_2O.

Datos:
T = 150°C
L_D = 5 granos/pie^3
V = 3 pies/min
$K_p = 2.5\text{x}10^{-11}$ pies^2
ρ_c = 1.4 g/cm^3
ΔP_f = 0.4 plg de H_2O
ΔP_T = 3.5 plg de H_2O

Solución:
Si ΔP_f es igual a 0.4 plg de H_2O, entonces:

$$\Delta P_p = \Delta P_T - \Delta P_f = 3.5 - 0.4 = 3.1 \text{ plg de } H_2O$$

$$\Delta P_p = 3.1 \text{ plg de } H_2O\ (0.0361 \text{ lbf/plg}^2/\ 1 \text{ plg de } H_2O) = 0.112 \text{ lbf/plg}^2$$

$$\Delta P_p = 0.112 \text{ lbf/plg}^2\ [32.174 \text{ lbm}\cdot\text{pie/s}^2/1 \text{ lbf}] = 3.6 \text{ lbm}\cdot\text{pie/ s}^2\cdot\text{plg}^2$$

$$\Delta P_p = 3.6 \text{ lbm}\cdot\text{pie/ s}^2\cdot\text{plg}^2\ (60 \text{ s/1 min})^2(12 \text{ plg/1 pie})^2 = 1{,}866{,}547 \text{ lbm/min}^2\cdot\text{pie}$$

El tiempo necesario para alcanzar una caida de presión de 3.5 plg de H_2O, se obtiene de la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\Delta P_p \cdot \rho_c \cdot k_p}{V^2 L_D \mu_g}$$

La viscosidad del aire a 150 °F es igual a 0.0497 lb/pie·h, sustituyendo valores queda:

$$t = \frac{(1{,}866{,}547\, lb/min^2 \cdot pie)(1.4\, g/cm^3)(1 lb/454\, g)(30.48 cm/1\, pie)^3(2.5\times10^{-11}\, pies^2)}{(5 \text{ granos}/pie^3)(1 lb/7000 \text{ granos})(0.0497\, lb/pie\cdot h)(1h/60 min)(3\, pies/min)^2}$$

t = 750 min = 12.5 h

Problema 7

Una corriente de aire con partículas que tiene un flujo de 10,000 pie^3/min con una temperatura de 70 °F y una carga de partículas de 2.3 g/m^3, pasa a través de una casa de bolsas que consiste en 49 bolsas instaladas en paralelo, cada bolsa tiene 20 pies de largo y 1 pie de diámetro.

La limpieza de todas las bolsas es al mismo tiempo y mediante un dispositivo mecánico, las pruebas indican que la caída de presión total es 3.28 plg de H_2O, mientras que la presión residual a través del filtro limpio antes de la prueba es de 0.53 plg de H_2O.

Determine:

a) La relación aire/tela usada durante la filtración.

b) Los valores de R_p y k_p.

Datos:

Q = 10,000 pies^3/min

T = 70°F

$\mu = 0.74 \times 10^{-5}$ lb/pie min

$$L_D = 2.3\frac{g}{m^3}\left(\frac{1lb}{456g}\right)\left(\frac{0.3048m}{1pie}\right)^3 = 1.428x10^{-4}\ \frac{lb}{pie^3}$$

$\#_{bolsas} = 49$

d = 1 pie

H = 20 pies

$$\rho_c = 0.0734\ \frac{lb}{pie^3}$$

ΔP_T = 3.28 plg de H_2O

ΔP_f = 0.53 plg de H_2O

t = 3 horas = 180 minutos

Solución:

a) Para obtener la relación aire-tela ($\approx V_f$) usada durante la filtración se número de bolsas y sus dimensiones utilizan los datos de flujo, el

$$A_{Total} = A_{cada\ bolsa} \times (\#_{bolsas})$$

$$A_{cada\ bolsa} = (\pi)(1\ pie)\ (20\ pies) = 62.832\ pies^2$$

$$A_{Total} = (62.832\ pies^2)\ (49) = 3,078.760\ pies^2$$

$$\text{Relación aire tela} = \frac{Q}{A} = \frac{10{,}000\, pies^3/min}{3{,}078.76\, pies^2} = 3.25\, pies/min$$

b) Para obtener el valor de K_p se utiliza la siguiente ecuación:

$$K_p = \frac{V^2 L_D t \mu}{\Delta P_p \rho_c}$$

pero, para conocer el valor de ΔP_p y se calcula de la siguiente forma:

$$\Delta P_T = \Delta P_f - \Delta P_p$$

$$\Delta P_p = \Delta P_T - \Delta P_f$$

$$\Delta P_p = 3.28 \text{ plg de } H_2O - 0.53 \text{ plg de } H_2O$$

$$\Delta P_p = 2.74 \text{ plg de } H_2O$$

$$\Delta P_p = 2.74\, plg\, de H_2O \left(\frac{0.0361\, lb_f/plg^2}{1\, plg\, de H_2O} \right) \left(\frac{32.174\, lb_m pie/s^2}{1 lb_f} \right) \left(\frac{60 s}{1 min} \right)^2 \left(\frac{12\, plg}{1\, pie} \right)^2$$

$$\Delta P_p = 1{,}655{,}807.88 \frac{lb_m}{pie * \min^2}$$

con el valor de ΔP_p sustituimos todos los valores:

$$K_p = \frac{\left(3.25\, pies/min\right)^2 \left(2.3\, g/m^3\right)\left(1\, lb/454 g\right)\left(1m/3.28 pies\right)^3 (180 min)\left(0.74x10^{-3}\, lb/pie * min\right)}{\left(1{,}655{,}807.88\, lb_m/pie * min^2\right)\left(0.0734\, lb/pie^3\right)}$$

$$K_p = 1.655x10^{-9}\, pies^2$$

Se emplea la siguiente ecuación:

$$R_p = \frac{\mu_g}{K_p \rho_c}$$

sustituyendo valores, tenemos:

$$R_p = \frac{\left(0.74x10^{-5}\ {}^{lb}/_{pie \cdot min}\right)}{\left(1.655x10^{-9}\,pies^2\right)\left(0.0734\ {}^{lb}/_{pie^3}\right)}$$

$$R_p = 6{,}091{,}688.14\,min^{-1}$$

Problema 8

El aire a 127°C con una carga de polvo de 10 g/m^3 pasa a través de un filtro de tela con una relación de aire a tela (o velocidad superficial) de 2.0 m/min. La densidad promedio de la torta de partículas en el filtro es de 0.9 g/cm^3 y la caída residual de presión a través del filtro es de 0.6 plg de H_2O.

a) Después de un periodo de 6 horas, la caída total de presión es de 4 plg de H_2O, estimar la permeabilidad K_p de la capa de polvo.
b) Si la permeabilidad del polvo es de $5x10^{-12}$ m^2, estimar el tiempo requerido para que la caída total de presión alcance 3.5 plg de H_2O.

Datos:

T = 127°C
μ = 2.292x10^{-5} Kg/m*s

$$L_D = 10\frac{g}{m^3}\left(\frac{1Kg}{1000g}\right) = 0.01\frac{Kg}{m^3}$$

$$V = 2\frac{m}{\min}\left(\frac{1\min}{60s}\right) = 0.033\frac{m}{seg}$$

$$\rho_c = 0.9\frac{g}{cm^3} = 900\frac{Kg}{m^3}$$

ΔP_f = 0.6 plg de H_2O
ΔP_T= 4 plg de H_2O (despues de 6 horas)

Solución:

a) Para obtener la ΔP_p tenemos:

$$\Delta P_p = \Delta P_T - \Delta P_f$$

$$\Delta P_p = 4 \text{ plg de } H_2O - 0.6 \text{ plg de } H_2O$$

$$\Delta P_p = 3.4 \text{ plg de } H_2O$$

$$\Delta Pp = 3.4 \text{plg} deH_2O\left(\frac{249.1 N/m^2}{1 \text{plg} deH_2O}\right)\left(\frac{9.81 Kg_m \cdot m/s^2}{1Kg_f}\right) = 8{,}308.48\frac{Kg_m}{m \cdot s^2}$$

Para obtener la permeabilidad K_p se emplea la siguiente ecuación:

$$K_p = \frac{V^2 C_i t \mu_g}{\Delta P p \rho_c}$$

sustituyendo t = 6 horas = 21600s. La viscosidad es de 2.292 x 10 $^{-5}$ kg/m·s a 127 °C tenemos:

$$K_p = \frac{\left(0.033\, m/s\right)^2 \left(0.01\, Kg/m^3\right)\left(21600s\right)\left(2.292x10^{-5}\, Kg/m \cdot s\right)}{\left(8{,}308.48\, Kg/m \cdot s^2\right)\left(900\, Kg/m^3\right)}$$

$$K_p = 7.204x10^{-13} m^2$$

b) Para obtener el tiempo requerido con K_p=5x10^{-12} m^2, tenemos:

$$\Delta P_p = \Delta P_T - \Delta P_f$$

$$\Delta P_p = 3.5 \text{ plg de } H_2O - 0.6 \text{ plg de } H_2O$$

$$\Delta P_p = 2.9 \text{ plg de } H_2O$$

$$\Delta P_p = 2.9 \text{plgdeH}_2\text{O} \left(\frac{249.1\, N/m^2}{1 \text{plgdeH}_2\text{O}}\right)\left(\frac{9.81\, Kg_m \cdot m/s^2}{1 Kg_f}\right)$$

$$\Delta P_p = 7{,}086.65\, Kg_m / m \cdot s^2$$

se aplica la siguiente ecuación:

$$K_p = \frac{V^2 L_D t \mu_g}{\Delta P_p \rho_c} \quad \text{despejando el tiempo, tenemos:} \quad t = \frac{\Delta P_p \rho_c K_p}{V^2 L_D \mu_g}$$

sustituyendo valores:

$$t = \frac{\left(7{,}086.65\, kg_m/m \cdot s^2\right)\left(900\, Kg/m^3\right)\left(5x10^{-12} m^2\right)}{\left(0.033\, m/s\right)^2 \left(0.01\, Kg/m^3\right)\left(2.292x10^{-5}\, Kg/ms\right)}$$

$$t = 127{,}764.66s\left(\frac{1 \min}{60s}\right) = 2{,}129 \min\left(\frac{1h}{60 \min}\right) = 35.5hrs$$

Precipitadores electrostáticos

5. PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS

Problema 1

Se tiene un precipitador electrostático que consiste en dos placas paralelas de 10 pies de alto por 16 pies de ancho con alambres de corona colocados a la mitad del espacio entre las dos placas. Calcule la velocidad de migración efectiva a un flujo de 35 pies^3/seg si la eficiencia de colección requerida es del 95%.

Datos:
H = 10 pies
B = 16 pies
Q = 35 pies^3/s
η = 95%

Solución:
Para calcular la eficiencia se aplica la siguiente ecuación:

$$\eta = 1 - e^{-\left[\frac{(A)}{Q}\right]w}$$

Despejando la velocidad de migración w, resulta:

$$-w\frac{A}{Q} = \ln(1-\eta)$$

$$w = -\frac{Q}{A}\ln(1-\eta)$$

Sustituyendo datos queda:

$$w = -\frac{35\,pies^3/s}{(10\,pies)(16\,pies)(2)}\ln(1-0.95)$$

$$w = (-0.109375\,pies/s)\ln(0.05)$$

$$w = 0.328 \;\; pies/s$$

Problema 2

Un precipitador electrostático es utilizado para remover partículas de una planta productora de cemento. El precipitador consta de ductos múltiples formados por placas de colección de 14 pies de ancho y 16 pies de alto, colocadas a 9 pulg de espacio. El gasto del gas que fluye a través de cada ducto se estima en 2,400 pies^3/min y el contenido de polvo es de 5 granos/pie^3. Calcular la eficiencia de colección y la cantidad colectada de polvo diariamente en cada ducto. La velocidad de migración es de 0.19 pies/seg.

Datos:
B = 14 pies
H = 16 pies
Q = 2,400 pies^3/min
C_i = 5 granos/pie^3
w = 0.19 pies/s

Solución:
a) Para calcular la eficiencia se aplica la siguiente ecuación:

$$\eta = 1 - e^{-\left[\frac{(w \cdot A)}{Q}\right]}$$

Como no tenemos el área, entonces:

A= B x H= (14pies)(16pies)(2)= 448 pies^2

Sustituyendo los datos queda:

$$\eta = 1 - e^{-\left[\frac{(0.19\,pies/s)(448\,pies^2)}{(2{,}400\,pies^3/min)(1\,min/60\,s)}\right]}$$

η = 88.1 %

b) Para obtener la cantidad colectada de polvo diariamente en cada ducto, se calcula el flujo total multiplicandose por la concentración de partículas y usando finalmente la eficiencia del precipitador.

2400 pies^3/min (1440 min/1 día) = 3,456,000 pies^3/día

3,456,000 pies^3/día (5 granos/pie^3) = 17,280,000 granos/día

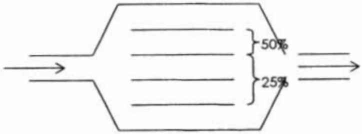
17,280,000 granos/día (1lb/7000 granos)= **2468.57 lb/día**

Problema 3

Un precipitador electrostático tiene 3 ductos con placas de 12 pies de ancho por 12 pies de alto. Las placas tienen una distancia de separación de 8 plg. Asumiendo una distribución uniforme de partículas y una velocidad de migración de 0.4 pies/s.

a) Calcular la eficiencia de colección para un flujo de 4,000 pies^3/min a 20°C y 1 atm.
b) Calcular la eficiencia total si uno de los ductos se alimenta con el 50% del gas y los otros dos con el 25% cada uno.

Datos:



B = 12 pies
H = 12 pies

$$Q = 4{,}000\,\frac{pies^3}{\min}\left(\frac{1\min}{60s}\right) = 66.67\,\frac{pies^3}{s}$$

$$w = 0.4\,\frac{pies}{s}$$

Solución:

A) Para calcular la eficiencia se aplica la siguiente ecuación:

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{wA}{Q}\right)}$$

como no tenemos el área, entonces:

$$A = BxH = 12pies(12pies)6 = 864pies^2$$

Sustituyendo los datos queda:

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{\left(0.4\,pies/s\right)864\,pies^2}{66.67\,pie^3/s}\right)} = 0.9943 = 99.43\%$$

B) La eficiencia se calcula para los flujos divididos, asumiendo a Q_1 como 2,000 pies^3/min, Q_2 y Q_3 de 1,000 pies^3/min respectivamente. Conservando la misma notación para las eficiencias y aplicando la ecuación para calcular cada una de éstas se obtiene:

$$A = BxH = 12\,pies(12\,pies)2 = 288\,pies^2$$

Como es el 50% son dos placas.

$$Q = 2{,}000\,\frac{pies^3}{\min}\left(\frac{1\min}{60s}\right) = 33.33\,\frac{pies^3}{s}$$

$$\eta_1 = 1 - e^{-\left(\frac{\left(0.4\,{}^{pies}/{}_{s}\right)288\,pies^2}{33.33\,{}^{pie^3}/{}_{s}}\right)} = 0.968 = 96.8\%$$

$$A = BxH = 12\,pies\,(12\,ies)4 = 576\,pies^2$$

Como es el 25% son cuatro placas.

$$Q = 2{,}000\,\frac{pies^3}{\min}\left(\frac{1\min}{60s}\right) = 33.33\,\frac{pies^3}{s}$$

$$\eta_{2y3} = 1 - e^{-\left(\frac{\left(0.4\,{}^{pies}/{}_{s}\right)576\,pies^2}{33.33\,{}^{pie^3}/{}_{s}}\right)} = 0.9990 = 99.90\%$$

Problema 4

Se tiene un precipitador electrostático de dos etapas, cada una con cinco placas colocadas en serie. La corona se forma entre dos placas que son controladas independientemente, así que si existe alguna falla en un alambre, el resto de la unidad puede ser operada normalmente.
La condiciones de operación son:

Flujo del gas (Q) = 10, 000 pies^3/min
Tamaño de las placas = 10 x 15 pies
Velocidad de migración (w) = 19 pies/min en la sección 1
Velocidad de migración (w) = 16.3 pies/min en la sección 2

a) Determinar la eficiencia de operación
b) Durante la operación un alambre se rompe en la etapa 1. Como resultado, todos los alambres de ésta fila se vuelven ineficientes, pero los otros funcionan normalmente. Calcule la eficiencia de colección en estas condiciones.
c) Ahora, la falla se produce en la segunda etapa, después que la primera fué reparada. Calcule la eficiencia en estas condiciones.

Solución

a) Para calcular la eficiencia de colección se aplica la siguiente ecuación:

$$\eta = 1 - e^{-\left[\frac{(w \cdot A)}{Q}\right]}$$

Como no tenemos el área, entonces:

A = BxH= (10pies)(15pies)(8) = 1200 pies^2

Sustituyendo valores para cada sección se obtienen las siguientes eficiencias:

$$\eta_1 = 1 - e^{-\left[\frac{\left(19\,pies/min \cdot 1{,}200\,pies^2\right)}{10{,}000\,pies^3/min}\right]}$$

$$\boldsymbol{\eta_1 = 89.77\ \%}$$

$$\eta_2 = 1 - e^{-\left[\frac{(16.3\,pies/min \cdot 1{,}200\,pies^2)}{10000\,pies^3/min}\right]}$$

$$\eta_2 = \mathbf{85.86\ \%}$$

La eficiencia total se calcula de la siguiente forma:

$$\eta_{total} = 1 - [(1 - \eta_1)]\,[(1 - \eta_2)] = 1 - (1 - 0.8977)\,(1 - 0.8586)$$

$$= 0.9855$$

b) Con la ruptura del alambre, de las ocho placas que estaban funcionando, solamente continúan operando seis, por lo tanto, la sección uno trabaja al 75 %. Ahora la eficiencia total sería:

$$\eta_{total} = 1 - [(1 - 0.75 \cdot \eta_1)]\,[(1 - \eta_2)] = 1 - [(1 - (0.75)(0.8977))]\,[(1 - 0.8586)]$$

$$= 0.9538$$

c) De igual forma que en el caso anterior, la falla ahora ocurre en la sección dos, así la eficiencia sería:

$$\eta_{total} = 1 - [(1 - \eta_1)]\,[(1 - 0.75 \cdot \eta_2)] = 1 - [(1 - 0.8977)]\,[((1 - (0.75)(0.8586))]$$

$$= 0.9636$$

Problema 5

Un precipitador electrostático será construido para remover cenizas de una chimenea que tiene un flujo de 10 m^3/s. Un análisis previo en otros sistemas parecidos, mostraron que la velocidad de migración es:

$$w = 3.0 \times 10^5\ d_p\ (m/s)$$

Determinar el área requerida para las placas con el fin de colectar partículas de 0.5μm de diámetro y una eficiencia de 90 y 99%.

Datos

$Q = 10\ m^3/s$
$d_p = 0.5\mu m$

Solución

De la ecuación para obtener la eficiencia

$$\eta = 1 - e^{-\left[\frac{(w \cdot A)}{Q}\right]}$$

Al despejar el área se obtiene:

$$A = -\ln(1-\eta)\left(\frac{Q}{w}\right)$$

Pero como no tenemos la velocidad de migración , esta se calcula por medio de la ecuación sugerida para un diámetro de partícula de 0.5 μm (Environmental Engineering, Tchobanoglous, George. pp 327 - 431)

$$w = 3.0 \times 10^5\ m/s\ [0.5 \times 10^{-6}]$$

$$w = 0.15\ m/s$$

Sustituyendo valores en la ecuación despejada, se obtiene:

Para una eficiencia del 90% $A = -\ln(1-0.9)\left(\dfrac{10m^3/s}{0.15m/s}\right) = 153.5m^2$

Para una eficiencia del 99% $A = -\ln(1-0.99)\left(\dfrac{10m^3/s}{0.15m/s}\right) = 307m^2$

Como la ecuación de la eficiencia es logarítmica, un incremento a 99.9% necesitaría el doble de área.

Problema 6

Considérese un precipitador electrostático de tipo de placas con un espaciamiento total de 23 cm y un voltaje de 50kV. La velocidad media del gas a través del colector es de 1.5m/s. Estímese la longitud de la placa colectora requerida para una eficiencia del 100% partículas de 0.5μm a 420K.

Datos:

$E = 50$ kV
$V_g = 1.5$ m/s
$d_p = 0.5$ μm
$T = 420$ K
$S = 23$ cm
$\mu_g = 0.0863$ Kg/m·hr
$\eta = 100\%$

Solución:

La velocidad de migración se calcula mediante la siguiente ecuación (Kenneth Wark,pp 287).

$$w = \frac{1.1x10^{-14} p \left(\frac{E}{s}\right)^2 d_p}{\mu_g}$$

si suponemos un valor de 2 para p, sustituyendo queda:

$$w = \frac{1.1x10^{-14}(2)\left(\frac{50000V}{0.115m}\right)^2 (0.5\mu m)}{\left(0.0863 \, {}^{Kg}\!/_{m \cdot hr}\right)} = 0.024 \, {}^{m}\!/_{s}$$

Con base en la siguiente ecuación (Kenneth Wark pp. 292), la longitud teórica del electrodo con un 100%
de eficiencia, será:

$$L = \frac{\left(\frac{s}{2}\right)V_g}{w} = \frac{\left(\frac{0.23m}{2}\right)1.5 \, {}^{m}\!/_{s}}{0.024 \, {}^{m}\!/_{s}} = 7.2m$$

Problema 7

Se encuentra que un precipitador con una área colectora específica (A/Q) de 350 $pies^2/1000\ pie^3$ act/min tiene una eficiencia global observada de 97.7%. Si el valor de A/Q se aumenta a 450 $pies^2/1000\ pie^3$ act/min, estímese la eficiencia colectora total esperada, sobre la base de una velocidad de migración efectiva constante.

Datos:
$(A/Q)_i = 350\ pies^2/1000\ pies^3/min$
$\eta = 0.977$
$(A/Q)_f = 450\ pies^2/1000\ pies^3/min$

Solución:

Despejando de la ecuación de la eficiencia:

$$\eta = 1 - e^{-\left[\frac{(w \cdot A)}{Q}\right]}$$

Y sustituyendo en la ecuación los datos proporcionados, se obtiene la velocidad de migración.

$$w = -\ln(1-\eta)\left(\frac{Q}{A}\right)$$

$$w = -\ln(1-0.977)\left(\frac{1000 pies^3\ /\ min}{350 pies^2}\right)$$

w = 10.78 pies/min

Si se usa el valor de la velocidad de migración con una relación de A/Q de 0.45, en la ecuasión de Deutsh - Anderson, se tiene:

$$\eta = 1 - e^{-(10.78)(0.45)} = \mathbf{99.22\ \%}$$

Problema 8

Para un precipitador electrostático en el cual la velocidad de migración y el gasto volumétrico permanecen constantes, ¿Cuál será el por ciento de cambio en el área de la placa colectora, que se requerirá para aumentar la eficiencia colectora de:
a) 80 a 99 %?
b) de 98 a 99.5%, con base en la ecuación de Deutsh - Anderson?

Solución:
a) Para obtener la relación de áreas para una eficiencia de 80% y después para una eficiencia de 99%, primero se usa la ecuación de Deutsh - Anderson.

$$\eta = 1 - e^{-\left[\frac{(w \cdot A)}{Q}\right]}$$

Despejando el área la ecuación queda de la siguiente forma:

$$A = -\ln(1-\eta)\left(\frac{Q}{w}\right) = -\ln(1-0.8)\left(\frac{Q}{w}\right) = 1.61\left(\frac{Q}{w}\right)$$

Para una eficiencia del 80%:

Para una del 99%:

$$A = -\ln(1-0.99)\left(\frac{Q}{w}\right) = 4.61\left(\frac{Q}{w}\right)$$

De esta forma, se puede observar que para incrementar la eficiencia del 80 al 99% se requiere incrementar el área de la placa colectora en un 186%.

b) Para una eficiencia del 98%:

$$A = -\ln(1-0.98)\left(\frac{Q}{w}\right) = 3.91\left(\frac{Q}{w}\right)$$

Para una del 99.5%:

$$A = -\ln(1-0.995)\left(\frac{Q}{w}\right) = 5.30\left(\frac{Q}{w}\right)$$

De esta forma, se puede observar que para incrementar la eficiencia del 98 al 99.5 % se requiere incrementar el área de la placa colectora en un 35%.

Problema 9

Un precipitador electrostático que tiene un área colectora específica (A/Q) de 300 $pies^2/1000\ pies^3/min$, presenta una eficiencia colectora de 98%. ¿Qué pasaría si se aumentara el valor de A/Q hasta 500 $pies^2/1000\ pies^3/min$?. Suponer que la velocidad de migración es constante.

Datos:
$(A/Q)_i = 300\ pies^2/1000\ pies^3/min$
$\eta = 0.98$
$(A/Q)_f = 500\ pies^2/1000\ pies^3/min$

Solución:
De la siguiente ecuación se despeja la velocidad de migración:

$$\eta = 1 - e^{-\left[\frac{(w \cdot A)}{Q}\right]}$$

Sustituyendo en la ecuación los datos proporcionados, se obtiene la velocidad de migración.

$$w = -\ln(1-\eta)\left(\frac{Q}{A}\right)$$

$$w = -\ln(1-0.98)\left(\frac{1{,}000 pies^3 / min}{300 pies^2}\right)$$

w = 13.04 pies/min

Se usa el valor de la velocidad de migración con un valor de A/Q de 0.5 y en la siguiente ecuación se sustituyen valores:

$$\eta = 1 - e^{-\left[\frac{(w \cdot A)}{Q}\right]}$$

$$\eta = 1 - e^{-(13.04)(0.5)}$$

η = 99.85 %

Problema 10

Para un precipitador electrostático de gran tamaño el costo de instalación es de $10 por pie^3/min, para una eficiencia colectora global del 97%. Estimar el porcentaje de aumento en el costo por pie cúbico por minuto, si se desea tener una eficiencia de 99.7%, permaneciendo constantes todas las otras variables generales de operación.

Solución:
De acuerdo con la ecuación de eficiencia:

$$\eta = 1 - e^{-\left[\frac{(w \cdot A)}{Q}\right]}$$

Despejando en función del flujo Q, se obtiene:

$$Q = \frac{-w \cdot A}{\ln(1-\eta)}$$

Para una eficiencia del 97% resulta:

$$Q = \frac{-w \cdot A}{\ln(1-0.97)} = \frac{-w \cdot A}{3.51}$$

Y para una del 99.7% sería de:

$$Q = \frac{-w \cdot A}{\ln(1-0.997)} = \frac{-w \cdot A}{5.81}$$

Como la velocidad de migración y el área permanecen constantes la proporción de aumento del flujo es de 66%, por lo que el costo aumentaría en este caso a $16.6 por pie^3/min.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

1) *EPA - APT1 Course 413*
<u>Control of Particulate Emissions</u>
Student manual
1981.

2)*EPA - APT1 Course 415*
<u>Control of Gaseous Emissions</u>
Student manual
1981.

3) *Crawford, Martin*
<u>Air pollution control theory</u>
Mc Graw Hill
USA, 1976, 235-460.

4) *Licht*
<u>Air pollution control engineering</u>
(Basic calculations for particulate collection)
2nd edition, Marcel Dekker Inc.
USA, 1988, 275-465.

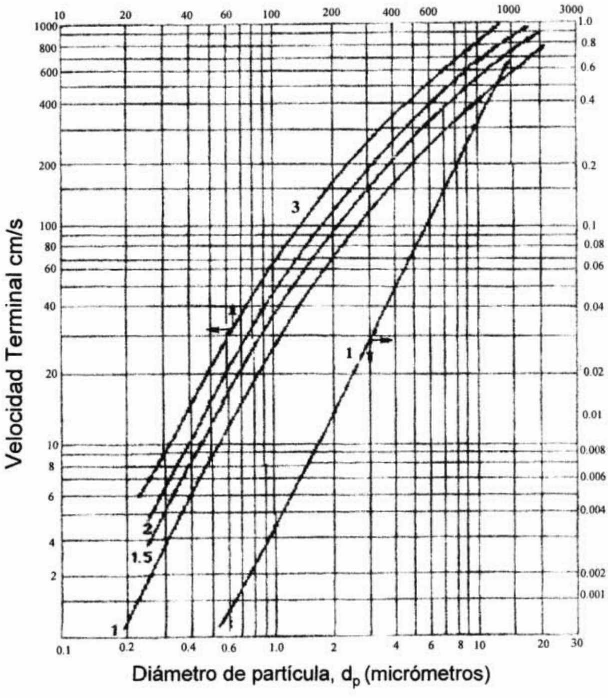
5) *Wark, Kenneth & Cecil F. Warner*
<u>Contaminación del aire (origen y control)</u>
Editorial Limusa
México, 1990, 327-431.

6) *Tchobanoglous, George, et. al.*
<u>Environmental Engineering</u>
Mc Graw Hill
Singapore, 1985, 518-567.

7) *Hesketh, E. Howard*
Understanding & Controlling Air Pollution
Ann Arbor Science Publisher Inc.

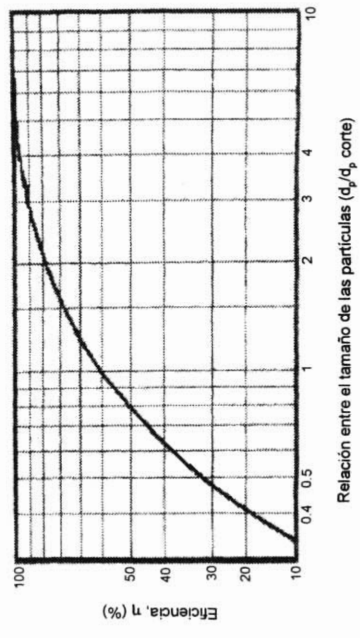
8) *Buonicore J.Anthony &*
Wayne T. Davis. Editors
Air Pollution Engineering Manual
Air & Waste Management Association
Van Nostrand Reinhold

Apéndice A



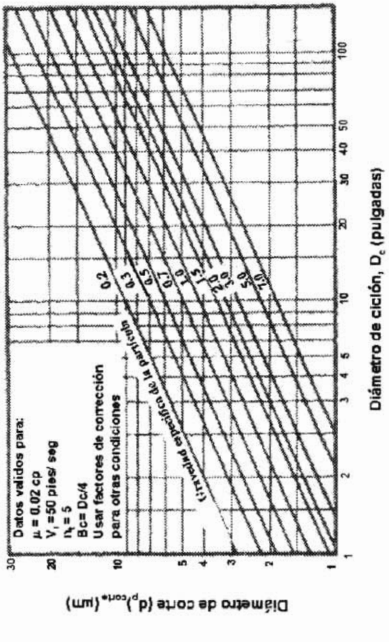
Gráfica 1.1 Velocidad de asentamiento de partículas esféricas en aire a temperatura ambiente (densidad g/cm³)

Fuente: Work Renneth Cecil F. Warner
"Contaminación del Aire" (Origen y Control)
México, 1990, pp. 223



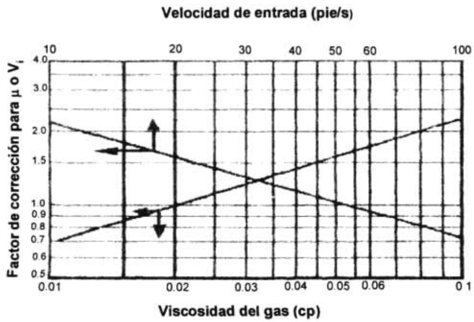
Gráfica 2.1 Eficiencia de ciclón contra el tamaño de partícula

Fuente: Lapple C.E.
"Processes use many colletion types"
Chem. Eng. 58, Mayo, 1951, pp. 145.

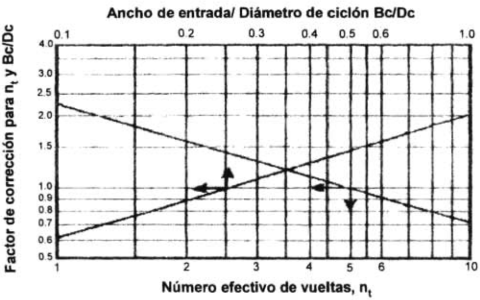


Gráfica 2.2 Diámetro de corte en micrómetros para ciclones de tipo convencional

Fuente: EPA, 1973

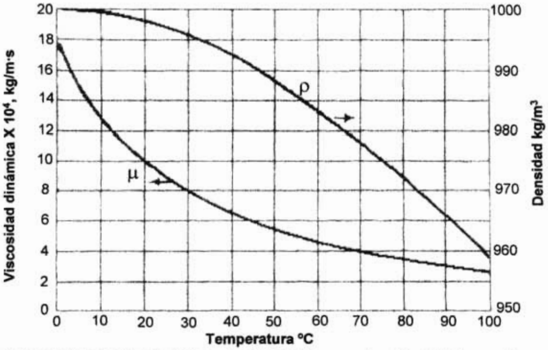


Gráfica 2.3 Factores de corrección para viscosidad y velocidad para un determinado diámetro de corte de partícula en ciclones convencionales

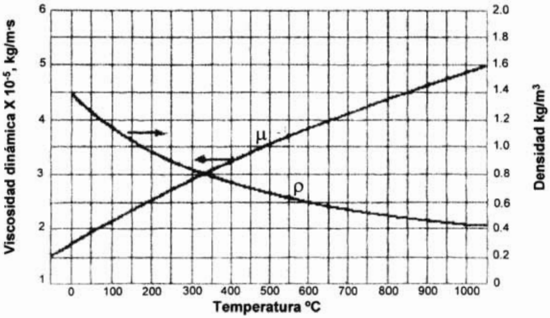


Gráfica 2.4 Factores de corrección para la relación Bc/Dc y el número efectivo de vueltas, para un determinado diámetro de corte de partícula en ciclones convencionales.

Fuente: EPA-APT1 Course 413
"Control of particularte Emissions".
Student Manual. Cap 6, pp.17, 1981



Gráfica 2.5 Viscosidad dinámica y densidad del agua en función de la temperatura



Gráfica 2.6 Viscosidad dinámica y densidad del aire a 1 atm en función de la temperatura

Fuente:Tchobanoglous, George
"Environmental Engineering"
Singapore, 1985, pp. 695

Apéndice B

FACTORES DE CONVERSIÓN

Longitud

	cm	m	plg	pie
1 centimetro =	1	10^{-2}	0.3937	3.281×10^{-2}
1 metro =	100	1	39.37	3.281
1 pulgada =	2.540	2.540×10^{-2}	1	8.333×10^{-2}
1 pie =	30.48	0.3048	12	1

Área

	m^2	cm^2	pie^2	plg^2
1 metro cuadrado =	1	10^4	10.76	1550
1 centimetro cuadrado =	10^{-4}	1	1.076×10^{-3}	0.1550
1 pie cuadrado =	9.290×10^{-2}	929.0	1	144
1 pulgada cuadrada =	6.452×10^{-4}	6.452	6.944×10^{-3}	1

Volumen

	m^3	cm^3	l	pie^3	plg^3
1 metro cúbico =	1	10^6	1000	35.31	$6.102x10^4$
1 centímetro cúbico =	10^{-6}	1	$1x10^{-3}$	$3.531x10^{-5}$	$6.102x10^{-2}$
1 litro =	1×10^{-3}	1000	1	$3.531x10^{-2}$	61.02
1 pie cúbico =	$2.832x10^{-2}$	$2.832x10^4$	28.32	1	1728
1 pulgada cúbica =	$1.639x10^{-5}$	16.39	$1.639x10^{-2}$	$5.787x10^{-4}$	1

Densidad

	kg/m^3	g/cm^3	lb/pie^3	lb/plg^3
1 kg/m^3 =	1	0.001	$6.243x10^{-2}$	$3.613x10^{-5}$
1 g/cm^3 =	1000	1	62.43	$3.613x10^{-2}$
1 libra/pie^3 =	16.02	$1.602x10^{-2}$	1	$5.787x10^{-4}$
1 libra/plg^3 =	$2.768x10^4$	27.68	1728	1

Tiempo

	Año	d	h	min	segundo
1 año =	1	365	8.766×10^{3}	5.259	3.156×10^{7}
1 día =	2.738×10^{-3}	1	24	1440	8.640×10^{4}
1 hora =	1.141×10^{-4}	4.167×10^{-2}	1	60	3600
1 minuto =	1.901×10^{-6}	6.944×10^{-4}	1.667×10^{-2}	1	60
1 segundo =	3.169×10^{-8}	1.157×10^{-5}	2.778×10^{-4}	1.667×10^{-2}	1

Velocidad

	pie/s	km/h	m/s	mi/h	cm/s
1 pie/s =	1	1.097	0.3048	0.6818	30.48
1 km/h =	0.9113	1	0.2778	0.6214	27.78
1 m/s =	3.281	3.6	1	2.237	100
1 mi/h =	1.467	1.609	0.4470	1	44.70
1 cm/s =	3.281×10^{-2}	3.6×10^{-2}	0.01	2.237×10^{-2}	1

Presión

	atm	plg de agua	cm Hg	Pascal	lb/plg^2	lb/pie^2
1 atm =	1	406.8	76	1.013×10^{5}	14.70	2116
1 plg de agua	2.458×10^{-3}	1	0.1868	249.1	3.613×10^{-2}	5.202
1 cm Hg =	1.316×10^{-2}	5.353	1	1333	0.1934	27.85
1 Pa =	9.869×10^{-6}	4.015×10^{-3}	7.501×10^{-4}	1	1.450×10^{-4}	0.0209
1 lb/plg^2 =	6.805×10^{-2}	27.68	5.171	6.895×10^{3}	1	144
1 lb/pie^2 =	4.725×10^{-4}	0.1922	3.591×10^{-2}	47.88	6.944×10^{-3}	1

Masa

	g	kg	lb	grano
1 g =	1	1000	2.2×10^{-3}	15.4
1 kg =	1×10^{-3}	1	2.2	15400
1 lb =	453.6	0.4536	1	7000
1 grano =	0.065	6.5×10^{-5}	1.43×10^{-4}	1

Fuente: Halliday, Resnick, Krane.
"Física", Ed. CECSA
México,1996, pp. 424

Problemario de control de partículas
Se terminó de imprimir en el mes de junio del año 2006 en los talleres de la Sección de Impresión y Reproducción de la Universidad Autónoma Metropolitana *Unidad Azcapotzalco*

La edición estuvo a cargo de la Sección de Producción y Distribución Editoriales

Se imprimieron 100 ejemplares más sobrantes para reposición.

ISBN: 970-31-0643-9

978-97031-06431

PROBLEMARIO DE CONTROL DE PARTICULAS
FALCON/VARIOS • SECCION DE IMPRESIO
21880 $ 16.00
R. 40 $ 16.00
40-ANTOLOGIAS CBI • 01-NO CLASIFICADOS

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

COSEI COORDINACIÓN DE SERVICIOS DE INFORMACIÓN

Formato de Papeleta de Vencimiento

El usuario se obliga a devolver este libro en la fecha señalada en el sello mas reciente

Código de barras. 2894195

FECHA DE DEVOLUCION

- Ordenar las fechas de vencimiento de manera vertical.

- Cancelar con el sello de "DEVUELTO" la fecha de vencimiento a la entrega del libro

UNIVERSIDAD
AUTONOMA
METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo
Azcapotzalco

División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Energía
Coordinación de Extensión Universitaria
Sección de Producción y Distribución Editoriales